

Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Gentil Veloso Barbosa

**Controle de Conexões, Sinalizações e Fluxos de Células
em uma Rede ATM Utilizando Java e SNMP**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Prof. Dr. João Bosco da Mota Alves
Orientador

Florianópolis, fevereiro de 2000.

Controle de Conexões, Sinalizações e Fluxos de Células em uma Rede ATM Utilizando Java e o Protocolo SNMP

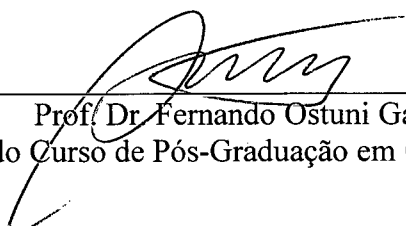
Gentil Veloso Barbosa

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação. Área de Concentração Sistemas Computacionais e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação.

Florianópolis, 28 fevereiro 2000.




Prof. Dr. João Bosco da Mota Alves
Orientador

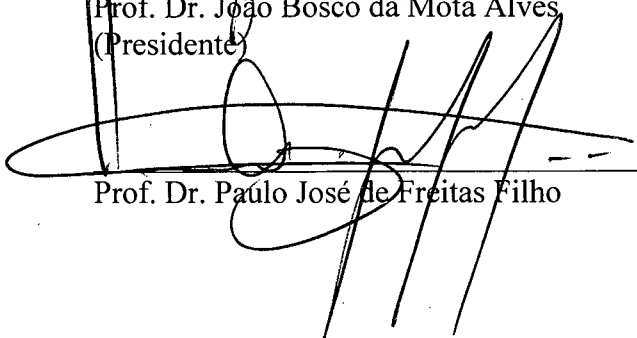


Prof. Dr. Fernando Ostuni Gauthier
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação

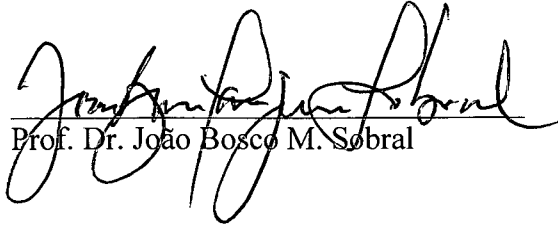
Banca Examinadora:



Prof. Dr. João Bosco da Mota Alves
(Presidente)



Prof. Dr. Paulo José de Freitas Filho



Prof. Dr. João Bosco M. Sobral



Prof. M. Sc. Elizabeth S. Specialski

Dedicatória

A minha mãe, Josina,
ao meu pai, João Pedro, e irmãos
pelo carinho, amor e incentivo.

Agradecimentos

Ao professor João Bosco da Mota Alves pelas discussões e sua amizade.

Aos demais membros da banca: professora Elizabeth S. Specialski, professor João Bosco M. Sobral e professor Paulo José de Freitas Filho.

À minha família, que sempre acreditou e incentivou meu potencial.

À Thereza Patrícia Pereira Padilha, pelo seu amor e companheirismo, que foram indispensáveis para a realização deste trabalho.

À Aletéia Patrícia Favacho de Araújo, pelas palavras de carinhos e conforto; e que sempre torceu pelo meu sucesso.

À equipe do NPD/UFSC, e em especial aos amigos do laboratório de Interoperabilidade de Redes: Edson Tadeu Lopes Melo, Solange Teresinha Sari, Elvis Melo Vieira e Antônio Fernando Cerutti.

Aos amigos Adriano, André Barotto, André Barros, Ewerton, Gerson, Gilmário, Gonçalo, Hélio, Jussara Kátira, Sinval e Walter pela convivência e amizade. A todos os meus amigos.

Resumo

A finalidade deste trabalho é apresentar um módulo de gerência para o controle de conexões, sinalizações e fluxos de células em uma rede ATM. Este módulo utiliza a simplicidade do protocolo SNMP e as facilidades disponíveis na linguagem de programação Java para permitir o gerenciamento dos fluxos de células em SVCs, bem como realizar um levantamento sobre todas as conexões ativas em um comutador, classificando-as como ponto a ponto ou ponto a multiponto. Além disso, é possível obter as informações sobre as sinalizações ATM.

Para validar o módulo de gerência foi estabelecido um estudo de caso, no qual uma série de experimentos foram definidos e realizados. Os experimentos foram realizados em duas circunstâncias: a primeira, baseada na condição atual de uma rede em atividade e a segunda sessão de experimentos baseou-se em situações específicas.

Abstract

The purpose of this work is to present a management module to control connections and cell flows in a ATM network. This module uses the simplicity of the SNMP protocol and the available resources of the programming language Java to allow the management of the cell flows in SVCs, as well as to look over all active connections, classifying them as point to point or point to multipoint. Besides, it is possible to obtain information about the ATM signaling.

To validate the management module it was established a case study, in which a series of experiments was done. The experiments were done over two circumstances: the first, based on the current condition of a active network and the second one based on specific situations.

Sumário

1	Introdução	16
1.1	Apresentação	19
2	Redes ATM.....	20
2.1	Estrutura de uma Rede ATM	21
2.2	Modelo de Referência RDSI-FL	22
2.3	Camada Física	24
2.4	Camada ATM.....	24
2.4.1	Formato de Células ATM.....	25
2.4.2	Comutação de Células ATM	26
2.4.3	Tipos de Conexões ATM.....	28
2.4.4	Multicast em ATM	30
2.5	Categoria de Serviços.....	31
2.5.1	Serviço CBR.....	32
2.5.2	Serviço VBR.....	32
2.5.3	Serviço ABR.....	33
2.5.4	Serviço UBR.....	34
2.6	Camada de Adaptação.....	35
2.6.1	Classes de Serviços.....	35
2.6.2	Tipos de AAL	36
2.7	Qualidade de Serviço em Redes ATM.....	39
2.7.1	Descritores de Tráfego.....	41
2.8	Plano de Controle.....	43
2.8.1	Sinalização.....	43
2.8.2	Endereçamento	45
2.8.3	Roteamento.....	47

2.9	Políticas para Controle de Conexões ATM.....	56
2.9.1	Localização da Política de Controle	58
2.9.2	Controle Durante o Estabelecimento	58
2.9.3	Controle das SVCs Existentes	59
2.9.4	Verificação das SVCs Após o Encerramento	60
3	Gerência de Redes ATM.....	61
3.1	Funções de Gerência ATM	61
3.1.1	Gerência de Configuração	61
3.1.2	Gerência de Falhas.....	62
3.1.3	Gerência de Contabilização	63
3.1.4	Gerência de Desempenho	63
3.1.5	Gerência de Segurança	64
3.2	Modelo de Gerência de Redes ATM.....	64
3.2.1	Utilização do SNMP em ATM	66
3.2.2	MIBs para Gerência de Redes ATM	69
3.3	Estrutura para Gerência de QoS em Redes ATM	72
3.3.1	Princípios da QoS	73
3.3.2	Especificação da QoS	74
3.3.3	Mecanismos de QoS	75
3.3.4	Mecanismos de Controle de QoS	76
3.3.5	Mecanismos de Gerência de QoS	77
4	Controle de Conexões, Sinalizações e Fluxos de Células	79
4.1	Estrutura do Módulo de Gerência	79
4.1.1	Obtenção das Conexões, Sinalizações e dos Fluxos de Células.....	81
4.2	Descrição do Ambiente de Gerência	83
4.3	Controle Baseado em uma Rede em Atividade.....	85
4.3.1	Comportamento dos Fluxos de Células em SVCs.....	85
4.3.2	Comportamento das SVCs: ponto a ponto ou ponto a multiponto	86
4.3.3	Comportamento de Sinalização ATM	88

4.4	Controle Baseado em SVC Específica	89
4.4.1	Comportamento dos Fluxos de Células em SVCs ABR e CBR.....	90
4.4.2	Fluxo de Células de Aplicações de Dados.....	91
5	Conclusões	93
5.1	Perspectivas para Trabalhos Futuros.....	96
	Referências Bibliográficas	97

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Elementos básicos de uma rede ATM [Alles 95].....	21
Figura 2.2 – Modelo de referência para protocolos da RDSI-FL	22
Figura 2.3 – Representação detalhada da arquitetura conceitual do ATM.....	23
Figura 2.4 – Formato do cabeçalho da célula ATM para UNI e NNI	25
Figura 2.5 – Meio físico com três VPIs e cinco VCIs.....	27
Figura 2.6 – Valores de entrada e saída das rotas ATM.....	27
Figura 2.7 – Comutação de células em um comutador ATM.....	28
Figura 2.8 – Conexões ponto a multiponto em redes ATM	29
Figura 2.9 – Sequência de mensagens para estabelecimento de conexões.....	45
Figura 2.10 – Formatos de endereços utilizados em redes ATM	46
Figura 2.11 – Exemplo de roteamento em uma rede ATM	48
Figura 2.12 – Rede mostrando a largura de banda disponível em cada <i>link</i>	51
Figura 2.13 – Rede mostrando os pesos em cada <i>link</i>	52
Figura 2.14 – Roteamento de conexões multicast	55
Figura 2.15 – Visão Lógica da função CAC em uma rede ATM.....	57
Figura 2.16 – Ciclo de vida de uma SVC	58
Figura 3.1 – Modelo de gerenciamento de redes ATM.....	65
Figura 3.2 – Modelo de gerência SNMP	67
Figura 3.3 – Mensagem SNMP	68
Figura 4.1 – Visão geral do módulo de controle	79
Figura 4.2 – Estrutura simplificada do módulo de gerência.....	82
Figura 4.3 – Backbone ATM da redeUFSC	84
Figura 4.4 – Largura de banda de saída nas conexões ativas no CPSW_NPD: porta 201 ...	86
Figura 4.5 – Comportamento das conexões ativas no comutador CPSW_NPD: ponto a ponto ou ponto a multiponto.....	87
Figura 4.6 – Comportamento de sinalização de entrada no comutador CPSW_NPD.....	88

Figura 4.7 – Comportamento de sinalização de saída no comutador CPSW_NPD	89
Figura 4.8 – Comportamento de uma SVC com tráfego CBR	90
Figura 4.9 – Fluxo de células em 5 SVCs gerado por aplicação de dados.....	92

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Principais características das classes.	36
Tabela 2.2 – Classificação de alguns parâmetros de qualidade de serviço	40
Tabela 3.1 – MIB, variáveis e OIDs para controle de interfaces.....	69
Tabela 3.2 – MIBs, variáveis e OIDs para controle de conexões.....	71
Tabela 3.3 – Variáveis e OIDs para controle de células.....	71
Tabela 3.4 – MIB, variáveis e OIDs para controle de sinalizações.....	72
Tabela 4.1 – Parâmetros para tráfego TCP submetido na estação do usuário.....	91

Lista de Abreviaturas

AA	<i>Administrative Authority</i>
AAL	<i>ATM Adapation Layer</i>
AAL-1	<i>ATM Adaptation Layer Type 1</i>
AAL-2	<i>ATM Adaptation Layer Type 2</i>
AAL3/4	<i>ATM Adaptation Layer Type ¾</i>
AAL-5	<i>ATM Adaptation Layer Type 5</i>
ABR	<i>Available Bit Rate</i>
AFI	<i>Authority and Format Identifier</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
ATM	<i>Assynchronous Transfer Mode</i>
ATRM Tool	<i>ATM Traffic and Resources Management Tool</i>
AVI	<i>Audio Video Internet</i>
CAC	<i>Connection Admission Control</i>
CBR	<i>Constant Bit Rate</i>
CDV	<i>Cell Delay Variation</i>
CDVT	<i>Cell Delay Variance Tolerance</i>
CER	<i>Cell Error Ratio</i>
CLP	<i>Cell Loss Priority</i>
CLR	<i>Cell Loss Ratio</i>
CMIP	<i>Common Management Information Protocol</i>
CMR	<i>Cell Misinsertion Ratio</i>
CPSW	<i>Control Point Switch</i>
CTD	<i>Cell Transffer Delay</i>

DCC	<i>Data Country Code</i>
DFI	<i>Domain Specific Part Format Identifier</i>
ESI	<i>End System Identifier</i>
GFC	<i>Generic Flow Control</i>
HEC	<i>Header Error Check</i>
ICD	<i>International Code Designator</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
IISP	<i>Interim Interswitch Signaling Protocol</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ITU-T	<i>International Organization of Union Telecommunications</i>
LANE	<i>LAN Emulation</i>
MCR	<i>Minimum Cell Rate</i>
MIB	<i>Management Information Base</i>
MID	<i>Message Identifier</i>
MBS	<i>Maxim Burst Size</i>
MPEG	<i>Moving Pictures Experts Group</i>
MSS	<i>Multiprotocol Switched Services Server</i>
NIC	<i>Network Interface Connector</i>
NNI	<i>Network to Network Interface</i>
OAM	<i>Operations and Maintenance</i>
PDU	<i>Protocol Data Unit</i>
PNNI	<i>Private Network-network Interface</i>
PRM	<i>Protocol Reference Mode</i>
PTI	<i>Payload Type Identifier</i>
PCR	<i>Peak Cell Rate</i>
PVC	<i>Permanent Virtual Connection</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RDSI-FL	<i>Redes Digitais de Serviços Integrados de Faixa Larga</i>

RD	<i>Routing Domain</i>
SAAL	<i>Signalling ATM Adaptation Layer</i>
SCR	<i>Sustained Cell Rate</i>
SECBR	<i>Severely-Error Cell Block Ratio</i>
SEL	<i>NSAP Selector</i>
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
SSCS	<i>Service Specific Convergence Sublayer</i>
SVC	<i>Switched Virtual Connections</i>
SVCCs	<i>Signalling VCCs</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
UBR	<i>Unspecified Bit Rate</i>
UNI	<i>User Network Interface</i>
VBR	<i>Variable Bit Rate</i>
VC	<i>Virtual Circuit</i>
VCC	<i>Virtual Channel Connection</i>
VCI	<i>Virtual Circuit Identifier</i>
VCL	<i>Virtual Channel Link</i>
VPC	<i>Virtual Path Connections</i>
VPI	<i>Virtual Path Identifier</i>

1 Introdução

Atualmente, as redes de computadores são compostas por um conjunto bastante heterogêneo de recursos. É essencial para o usuário a existência de ferramentas com a capacidade de gerenciar e controlar essa grande complexidade e variedade de recursos. Existem várias ferramentas comerciais (*HP-Open View*, *Sun NetManager*, entre outras) que resolvem, em parte, o problema da gerência, porém, ainda há muitas questões a serem resolvidas, principalmente os aspectos relacionados com o Modo de Transferência Assíncrono (ATM - *Asynchronous Transfer Mode*) [Alles 95, Tanenbaum 97, Soares 95].

As redes ATM são fundamentalmente orientadas à conexão, sendo necessário o estabelecimento de conexões através da rede antes que qualquer transferência de dados seja efetuada [Soares 95, Tanenbaum 97]. Essa tecnologia de rede transporta vários tipos de informações em grandes quantidades sob uma mesma estrutura física. Portanto, essas informações competem pelos mesmos recursos, por exemplo, a largura de banda disponível em uma conexão pode ser compartilhada entre os participantes de uma conexão. Estas interdependências introduzem questões que requerem a gerência de redes ATM e podem ser vistas como um serviço que utiliza uma variedade de ferramentas, aplicações e dispositivos para auxiliar o administrador de rede a monitorar e manter os recursos da rede disponíveis eficientemente.

De modo geral, as redes ATM implementam dois tipos fundamentais de conexões: as conexões ponto a ponto, que conectam dois sistemas finais ATM e podem ser unidirecional ou bidirecional; e as conexões ponto a multiponto que conectam uma fonte (nó raiz) a múltiplos destinatários (nós folhas). A replicação de células na rede é realizada pelos comutadores, nos quais as conexões são divididas em dois ou mais ramos. Os sistemas finais também poderiam replicar células e enviá-las para múltiplos sistemas finais através de várias *links*, mas, geralmente, os comutadores ATM realizam a replicação de células

mais eficientemente. Essas conexões são unidirecionais, permitindo apenas que o nó raiz transmita informações para os elementos folhas.

As conexões ATM podem ser classificadas como: (1) Conexões Virtuais Permanentes (*Permanent Virtual Connections* – PVC) que são estabelecidas manualmente pelo administrador de rede; (2) Conexões Virtuais Comutadas (*Switched Virtual Connections* – SVC) que são estabelecidas dinamicamente através de um protocolo de sinalização. As SVCs não requerem uma interação manual, fazendo com que as SVCs sejam muito mais utilizadas do que as PVCs. No entanto, as SVCs solicitadas pela aplicação podem consumir recursos importantes da rede, que são compartilhados e finitos, sendo, portanto, necessário manter uma gerência sobre as SVCs para permitir uma melhor distribuição de recursos da rede entre seus usuários.

Uma SVC passa por três fases distintas, durante as quais podem sofrer interferência da política de controle [Sprenkels 98]: estabelecimento, duração e desconexão. Neste trabalho é adotado uma gerência para as conexões já existentes, na qual através de um software de gerência é possível obter uma visão geral de todas as SVCs ativas em um comutador, bem como os fluxos de células transmitidos em cada uma dessas conexões. De acordo com as informações fornecidas pelo software de gerência, o administrador da rede pode encerrar uma conexão indesejada, bem como impedir que uma conexão interrompida seja restabelecida imediatamente.

O Processo utilizado para o estabelecimento, supervisão e rompimento das SVCs é realizado pela sinalização ATM de forma dinâmica. A partir desta sinalização, pode-se ter os seguintes mecanismos em uma rede ATM: controle de admissão de conexões, que controla estatisticamente os recursos da rede, determinando se a abertura de uma conexão é viável, garantindo a Qualidade de Serviço (QoS) especificada e minimizando a probabilidade de congestionamentos; policiamento, que ajuda na prevenção de situações onde uma determinada fonte de tráfego ultrapassa os limites negociados no momento do

estabelecimento de uma conexão por ela utilizada; controle de congestionamento, que permite o retorno a um estado aceitável, no momento em que a rede se torne congestionada.

Desta maneira, este trabalho tem como finalidade apresentar um módulo de gerência para controle de conexões, sinalizações e fluxos de células em uma rede ATM. Também serão apresentadas algumas constatações preliminares, observadas nos comutadores, onde foram realizados os experimentos para validação do módulo de gerência. Esse módulo utiliza a simplicidade implementada pelo protocolo SNMP (*Simple Network Management Protocol*) e as facilidades disponíveis na linguagem de programação Java para permitir o monitoramento dos fluxos de células de entrada e saída nas SVCs em todas as portas de um comutador ATM, bem como realizar um levantamento sobre todas as conexões ativas em um comutador, classificando-as como ponto a ponto ou ponto a multiponto [Miller 97, Townsend 95]. O módulo de gerência também realiza o levantamento das informações de sinalizações, responsáveis pelo estabelecimento, supervisão e rompimento das conexões ATM.

O módulo de gerência a ser apresentado faz parte de uma ferramenta de gerência de redes ATM (*ATM Traffic and Resources Management Tool* - ATRM Tool) que está sendo desenvolvida no Núcleo de Processamento de Dados – NPD da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC [Cerutti 99, Barbosa 00]. O objetivo é desenvolver uma ferramenta de gerência para coletar e avaliar informações sobre a utilização dos recursos ATM. A estrutura do módulo de gerência de redes ATM é composta de três elementos: os objetos de coleta, que obtêm dados da rede ATM; a base de dados para armazenar as informações; e finalmente, os relatórios que representam os resultados obtidos na monitoração.

1.1 Apresentação

No capítulo 2 é apresentada a estrutura de uma rede ATM, descrevendo particularidades de cada camada. Portanto, são feitas considerações sobre o processo de comutação de células, os tipos de conexões, as categorias de serviços, a QoS e o plano de controle. Além disso, é descrito um mecanismo de política de controle sobre conexões ATM.

O capítulo 3 descreve alguns aspectos sobre a gerência de redes ATM, no qual são apresentadas as funções de gerência e o modelo de gerenciamento de redes ATM. Finalmente, é apresentada uma estrutura que pode ser utilizada como fundamento para a gerência de QoS em redes ATM.

Uma descrição simplificada do módulo de controle implementado é apresentada no capítulo 4. Além disso, é apresentado um estudo de caso, no qual é destacado o ambiente de estudos e algumas constatações preliminares observadas nos comutadores ATM da redeUFSC.

Finalmente, no capítulo 5 são apresentadas algumas conclusões do trabalho e as perspectivas para trabalhos futuros como continuidade deste.

2 Redes ATM

O desenvolvimento das Redes Digitais de Serviços Integrados de Faixa Larga (RDSI-FL) teve como objetivo oferecer toda a infra-estrutura necessária para suportar uma grande variedade de classes de serviços compostos de diversos tipos de tráfego com diferentes requisitos de qualidade de serviço [Soares 95]. No entanto, os serviços atuais, por exemplo a videoconferência, cuja taxa de transmissão pode chegar a centenas de Mbps, taxa esta impossível de ser fornecida pelas redes de telecomunicações atuais. Para atender a estes novos requisitos e permitir alcançar uma alta taxa de utilização em velocidades bem elevadas, o Modo de Transferência Assíncrono (ATM) foi proposto. As redes ATM possuem as seguintes características:

- tecnologia orientada à conexão, sendo, portanto, necessário o estabelecimento de um circuito virtual através da rede, entre os elementos envolvidos numa comunicação, antes da transmissão das informações. O objetivo é permitir a reserva antecipada dos recursos necessários à comunicação, buscando simplicidade e maior rapidez no processo de comutação;
- os pacotes de transmissão são conhecidos como células, e possuem tamanho fixo e reduzido;
- o cabeçalho da célula contém identificadores da conexão VPI/VCI, que são atribuídos no estabelecimento da conexão. Desta maneira, a célula é a unidade de transmissão e de comutação, podendo ser transmitida diretamente para um determinado caminho sem requerer procedimentos especiais.

Nesse capítulo serão abordados vários aspectos sobre a estrutura de uma rede ATM, destacando principalmente os aspectos sobre as conexões, as sinalizações e os fluxos de células.

2.1 Estrutura de uma Rede ATM

Uma rede ATM adota uma estrutura hierárquica e consiste de um conjunto de comutadores e sistemas finais conectados por uma interface ponto a ponto (Figura 2.1). Os sistemas finais são estações de trabalho ou PCs equipados com uma placa de rede ATM (*Network Interface Connector* – NIC). Diferente das tecnologias de redes de meio compartilhado tal como Ethernet, uma rede ATM necessita de um comutador para conectar sistemas finais através de conexões ponto a ponto. Um comutador provê uma matriz de portas que são utilizadas para conectar sistemas finais ou outros comutadores. Existem comutadores de pequena escala para redes ATM privadas (10-256 portas) e de grande escala usados pelas companhias telefônicas para redes ATM públicas (mais de 1000 portas). Diferentes portas devem suportar meios físicos como par trançado e cabo coaxial, mas, geralmente, a fibra óptica é utilizada, uma vez que permite uma alta taxa de transmissão. As redes ATM também podem ser conectadas às LANs tradicionais, através de roteadores, que são responsáveis em traduzir os protocolos entre essas tecnologias.

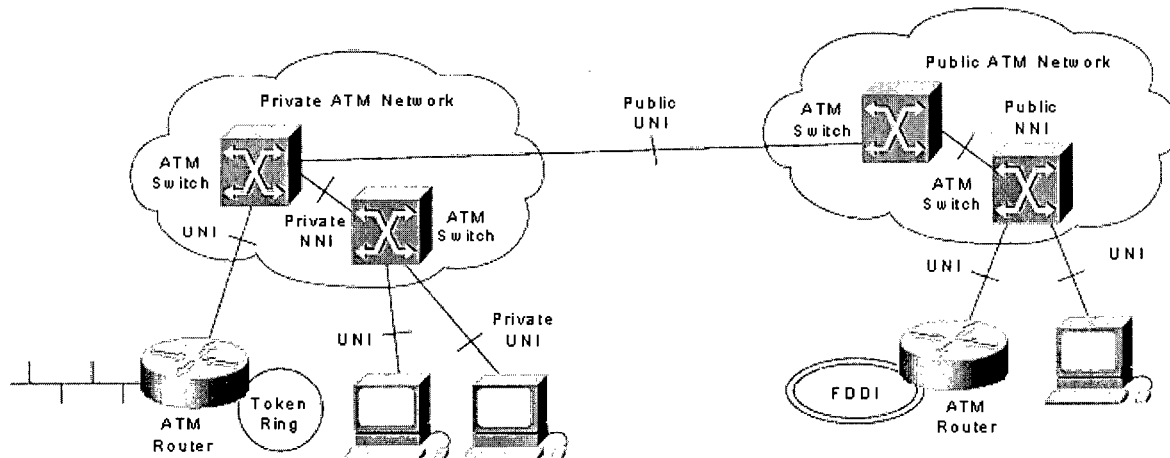


Figura 2.1 – Elementos básicos de uma rede ATM [Alles 95]

A interface entre o usuário (terminais, roteadores) e a rede é chamada interface usuário-rede (*User-Network Interface* – UNI). A interface entre os comutadores de rede é chamada interface rede-rede (*Network-Network Interface* – NNI). Mas, precisamente, a NNI é qualquer enlace lógico ou físico pelo qual dois comutadores utilizam o protocolo NNI.

2.2 Modelo de Referência RDSI-FL

A arquitetura das redes ATM foi definida pelo ITU-T a partir de um Modelo de Referência para protocolos (*Protocol Reference Mode* - PRM) que constitui um modelo tridimensional composto por três planos, como pode ser observado na Figura 2.2 [Soares 95, Tanenbaum 97].

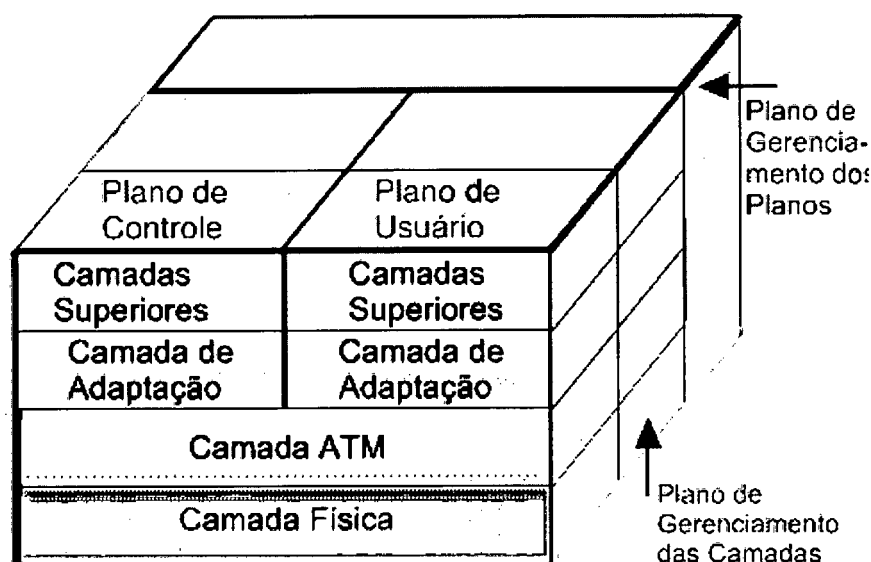


Figura 2.2 – Modelo de referência para protocolos da RDSI-FL

Esse modelo utiliza o conceito de planos diferentes com a finalidade de separar as funções do usuário, de controle e de gerenciamento:

- plano de usuário: é responsável pela transferência de informações de usuário;
- plano de controle: é responsável pela sinalização necessária para ativar, manter e desativar chamadas e conexões;
- plano de gerenciamento: é responsável pela manutenção da rede e exceção de funções operacionais, gerenciando os demais planos e a si próprio. O plano de gerenciamento divide-se conforme as entidades que se deseja gerenciar.

Os planos do usuário e de controle são compostos por quatro camadas, conforme ilustrados na Figura 2.2:

- camadas superiores: no plano do usuário, são responsáveis pela produção e apresentação de vários tipos de dados, e no plano de controle realizam serviços de controle;
- camada de adaptação ATM (AAL): assegura que os serviços tenham as características apropriadas para as aplicações e realiza funções de níveis superiores referentes ao tipo de serviço;
- camada ATM: recebe os dados a serem enviados e adiciona o cabeçalho da célula com a finalidade de assegurar que a célula seja enviada na conexão correta. Essa camada realiza as funções de comutação e multiplexação independente da camada física;
- camada física: realiza a transmissão dos dados e fornece características mecânicas, elétricas e funcionais do meio físico.

Outro aspecto importante sobre o modelo arquitetural das redes ATM é que a camada de adaptação está presente apenas nos sistemas finais. Na Figura 2.3 é mostrado uma estrutura de protocolos de uma rede ATM com dois comutadores e dois sistemas finais. Os dois sistemas finais na rede possuem todas as quatro camadas do modelo de rede RDSI-FL. Os comutadores possuem apenas as duas camadas inferiores, uma vez que a comutação de células ocorre na camada ATM.

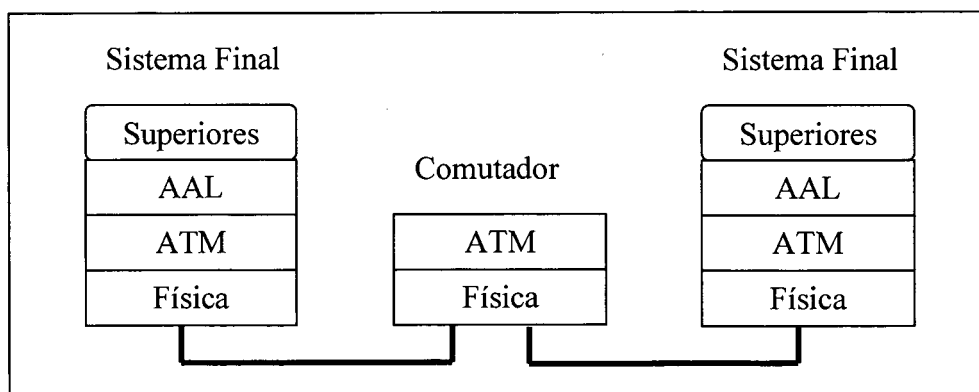


Figura 2.3 – Representação detalhada da arquitetura conceitual do ATM

2.3 Camada Física

A camada física do Modelo de Referência da RDSI-FL está presente em todos os equipamentos da rede.

A tarefa dessa camada é prover um serviço uniforme para a transmissão de células ATM sobre um *link*, isolando assim a camada ATM das características específicas do meio físico em uso. Esta camada é, portanto, responsável pela transmissão e determinação das taxas de bits através de um meio de transmissão. Inicialmente foram propostas taxas de 155Mbps e 622Mbps para transmissão em fibras ópticas, mas outras taxas também foram definidas para outros meios de transmissão.

2.4 Camada ATM

A função da camada ATM é o transporte de células passadas da Camada de Adaptação, da entidade fonte para as entidades de destino (Figura 2.3). As células são entregues de uma entidade de protocolo da camada ATM para o próximo, até finalmente alcançarem o seu destino. No destino as células são, então, novamente passadas da entidade de protocolo da camada ATM para a camada AAL. Isto é, na camada de protocolos ATM de comutadores que as funções da rede são realizadas.

As conexões da camada ATM devem ser estabelecidas antes do transporte de qualquer informação do usuário. Na fase de estabelecimento de conexão o estado do provedor de serviço ATM é alterado para acomodar uma nova conexão. Isso envolve a criação de entradas na tabela de rotas das entidades da camada ATM ao longo da conexão. Esse assunto é tratado detalhadamente ainda neste capítulo.

A camada ATM suporta conexões com propriedades de qualidade de serviço. Isso significa que células de diferentes conexões são tratadas diferentemente com a finalidade de encontrar as propriedades de QoS de cada conexão particular. A camada ATM pode, por

exemplo, usar múltiplas filas de saída com diferentes propriedades para um *link*, resultando em diferentes características de atrasos para as conexões. Também a quantidade de espaço em *buffer* pode ser variada por conexão, resultando em diferentes características de perdas.

2.4.1 Formato de Células ATM

Uma célula ATM contém um cabeçalho com cinco bytes e um campo de informações de 48 bytes, perfazendo um total de 53 bytes. Existem dois formatos de células: o formato UNI utilizado na transmissão de células entre terminais e comutadores; e o formato NNI destinado à transmissão de informação entre comutadores. Em ambos os formatos, o cabeçalho da célula está dividido em vários campos (Figura 2.4):

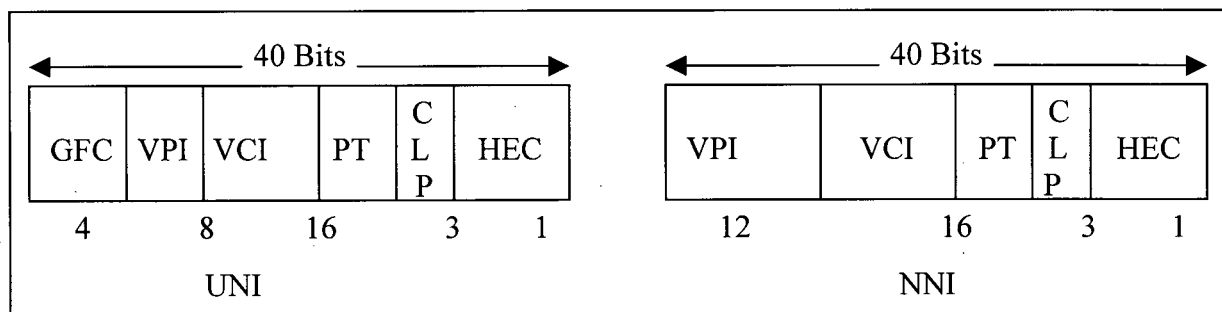


Figura 2.4 – Formato do cabeçalho da célula ATM para UNI e NNI

- *Generic Flow Control* – GFC: formado pelos 4 primeiros bits do primeiro byte do cabeçalho, é usado em funções de controle de tráfego entre estação terminal e rede. Este campo define um mecanismo que pode ser usado pela rede no sentido de controlar o fluxo de tráfego do usuário segundo diferentes perfis de qualidade de serviço.
- *Virtual Path Identifier* (VPI) e *Virtual Channel Identifier* (VCI): VPI contém 12 bits e VCI 16 bits. Uma conexão ATM é unicamente identificada por um endereço de 28 bits formado pela combinação desses dois campos.

- *Payload Type Identifier* - PTI: este campo possui 3 bits, e indica o tipo de informação contida na célula. Esta informação pode ser do usuário, de gerenciamento de recursos ou de operação e manutenção, dependendo da ordem dos bits.
- *Cell Loss Priority* – CLP: ocupa 1 bit, e define um mecanismo de prioridade no descarte de células quando surgem problemas de congestionamento em comutadores ATM. Este campo pode ser utilizado pela rede para descartar células na própria interface, ou aceitá-las na base do melhor esforço para entregá-las, marcando-as, porém, para descartá-las se houver problemas.
- *Header Error Control* – HEC: ocupa 8 bits, e garante a detecção e a correção de erro de cabeçalho. Também é responsável para indicar início e fim das células dentro de um fluxo de bits, que é uma função típica do nível de enlace.

2.4.2 Comutação de Células ATM

Um comutador é constituído por várias portas que se associam às linhas físicas da rede. Um comutador deve receber as células que chegam pelas portas de entrada e retransmiti-las através das portas de saída, mantendo a ordem original em cada conexão.

Como já mencionado, as redes ATM são fundamentalmente orientadas à conexão sendo então necessário o estabelecimento de conexões através da rede antes que qualquer transferência de dados seja efetuada (Figura 2.5). Uma conexão fim a fim em ATM é denominada uma conexão com canal virtual (*Virtual Channel Connection* – VCC). Uma VCC é formada pela concatenação de conexões virtuais estabelecidas nos vários enlaces da rede, da origem até o destino, formando um caminho único através do qual as células serão encaminhadas. Cada conexão virtual em um enlace é denominada de enlace de canal virtual (*Virtual Channel Link* – VCL).

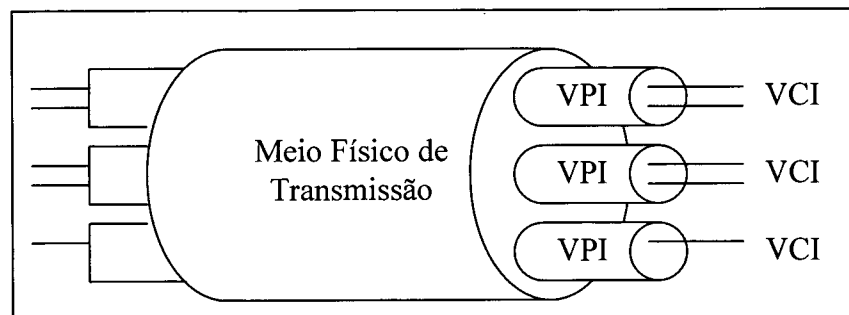


Figura 2.5 – Meio físico com três VPIs e cinco VCIs

Quando as células chegam em um comutador através de um *link*, devem ser encaminhadas ao próximo *link* do caminho estabelecido por uma VCC. Os identificadores VCI e VPI contidos no cabeçalho da células, em conjunto, formam rótulo da célula. Cada célula deve identificar para o comutador qual a sua porta de entrada e o seu rótulo. A partir destas informações, o comutador consulta uma tabela (Figura 2.6) que relaciona cada rótulo e porta de entrada ao próximo rótulo e porta de saída a ser utilizado no caminho estabelecido pelo VCC. Em seqüência, o comutador atualiza o rótulo da célula e retransmite esta através da porta de saída especificada na tabela. As tabelas de rotas são atualizadas internamente no comutador durante a fase de estabelecimento da conexão.

Entrada		Saída	
Porta	VPI / VCI	Porta	VPI / VCI
1	29	2	45
2	45	1	29
1	64	3	29
3	29	1	64

Figura 2.6 – Valores de entrada e saída das rotas ATM

No exemplo da Figura 2.7, o comutador recebe duas células de entrada na porta 1, uma com rótulo 64 e retransmite-a pela porta 3 com rótulo 29. A outra célula possui rótulo 29 e é retransmitida através da porta 2 com o rótulo de 45.

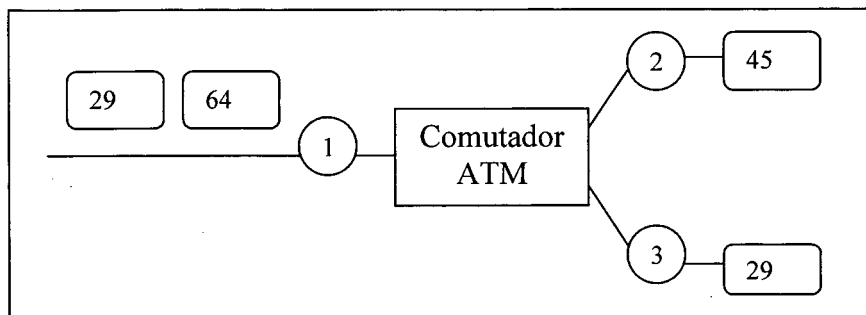


Figura 2.7 – Comutação de células em um comutador ATM.

A forma que as tabelas de rotas são estabelecidas determinam a forma como as conexões ATM são classificadas:

- **Conexões Virtuais Permanentes (PVC):** uma PVC é estabelecida manualmente, na qual um conjunto de comutadores que estão entre o sistema final, fonte e destino são configurados com os valores dos VCI e VPI adequados;
- **Conexões Virtuais Comutadas (SVC):** uma SVC é uma conexão que é estabelecida dinamicamente através de um protocolo de sinalização. SVCs não requerem uma interação manual, fazendo com que as SVCs sejam muito mais utilizadas do que as PVCs.

2.4.3 Tipos de Conexões ATM

De modo geral, as redes ATM implementam dois tipos fundamentais de conexões: conexões ponto a ponto e ponto a multiponto.

- **Conexões ponto a ponto:** conectam dois sistemas finais ATM e podem ser unidirecional ou bidirecional.
- **Conexões ponto a multiponto:** conectam uma fonte (conhecida como nó raiz) a múltiplos destinatários, denominados de nós folhas (Figura 2.8). A replicação de células na rede é realizada pelos comutadores nas quais as conexões são divididas em dois ou

mais ramos. Os sistemas finais também poderiam replicar células e enviá-las para múltiplos sistemas finais através de várias conexões ponto a ponto, mas, geralmente, os comutadores ATM realizam a replicação de células com mais eficiência. As conexões ponto a multiponto são unidirecionais, permitindo apenas que o nó raiz transmita informações para os elementos folhas. Isto impede as redes ATM de implementar as facilidades disponíveis em multicast.

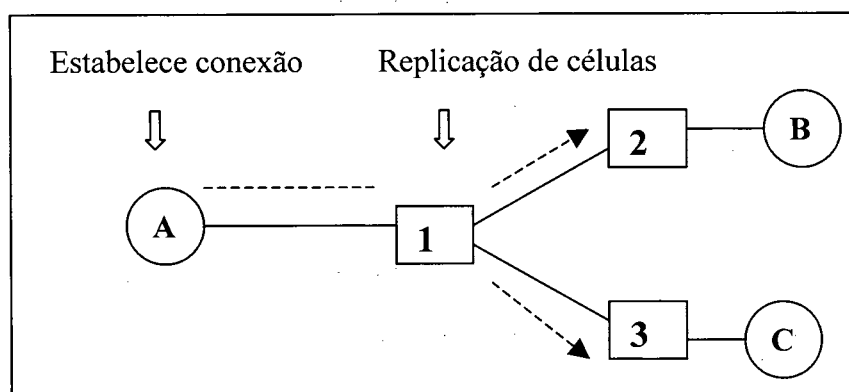


Figura 2.8 – Conexões ponto a multiponto em redes ATM

Uma forma alternativa de implementar multicast em ATM seria a utilização de conexões multiponto a multiponto bidirecional. Infelizmente essa solução não pode ser implementada usando a AAL5 (*ATM Adaptation Layer*), que é a camada mais comum para transmitir dados através de redes ATM (ainda neste capítulo serão descritas as camadas de adaptação mais detalhadamente). Diferente da AAL3/4, como seu campo para identificação de mensagem (MID – *Message Identifier*), a AAL5 não possui nenhum mecanismo em seu formato de célula para fazer a seleção de células de diferentes pacotes em uma conexão. Isso significa que todos os pacotes enviados pela AAL5 para um destino, através de uma conexão, deveriam ser recebidos em seqüência, sem nenhuma divisão entre células de diferentes pacotes sob a mesma conexão, ou o processo de remontagem no destino não seria capaz de reconstruir os pacotes.

Apesar dessas limitações, ATM requer alguma forma de implementar multicast, uma vez que a maioria dos protocolos existentes foram inicialmente desenvolvidos para tecnologia das LANs, confiando na existência das facilidades de broadcast e multicast tradicionais. Para os objetivos deste trabalho serão apresentados apenas os mecanismos de implementação de multicast em ATM; os procedimentos de funcionamento e de configuração podem ser encontrados na RFC 2022 e em [Belcore 96, McCutcheon 97].

2.4.4 Multicast em ATM

Os métodos para implementação de multicast em ATM são: VP-multicast, servidor multicast e conexões ponto a multiponto em malhas.

- **VP-Multicast:** para este mecanismo, um VP multiponto a multiponto conecta todos os elementos de um grupo multicast, e para cada elemento é atribuído um único VCI dentro do VP. Os pacotes intercalados podem ser identificados pelo VCI da fonte. Infelizmente este mecanismo requer um protocolo dedicado para alocar o valor do VCI para os elementos e, atualmente, não existe um protocolo capaz de realizar tal atividade. Também não está claro se o dispositivo de montagem e segmentação suportaria o modo de operação.
- **Servidor Multicast:** neste mecanismo todos os elementos que desejam transmitir em um grupo multicast estabelecem uma conexão ponto a ponto com um dispositivo conhecido como servidor multicast. Este servidor é conectado a todos os elementos de rede que desejam receber pacotes através de uma conexão ponto a multiponto. O servidor multicast recebe pacotes através de conexão ponto a ponto, realiza a ordenação para evitar intercalação de células e, então, retransmite-as através de conexões ponto a multiponto.

O servidor multicast também poderia ser conectado a cada um dos elementos de destino usando conexão ponto a ponto e replicar os pacotes antes da transmissão. No entanto, ATM realiza replicação através de conexões ponto a multiponto mais eficientemente.

- **Conexões Ponto a Multiponto em Malhas em Redes ATM:** um outro método de implementar multicast em redes ATM é conhecido como conexões ponto a multiponto em malhas [Bellcore 96, McCutcheon 97]. Neste mecanismo todos os elementos que participam de um grupo multicast estabelecem suas próprias conexões ponto a multiponto com todos os outros elementos de seu grupo, e se torna uma folha na conexão equivalente para todos os outros elementos. Consequentemente, qualquer um dos elementos pode tanto transmitir quanto receber informações de todos elementos que participam do grupo.

Em geral, ainda não existe nenhuma solução ideal para multicast em ATM [Alles 95, Bellcore 96, McCutcheon 97]. No entanto, os protocolos das camadas superiores na rede ATM utilizam essas soluções. Os aspectos envolvidos na implementação do serviço de multicast em ATM servem como exemplo para mostrar a complexidade da interconexão dos protocolos existentes com ATM. A maioria dos protocolos atuais, particularmente esses desenvolvidos para LANs, assume uma infra-estrutura de rede muito similar às tecnologias de LANs existentes – isto é, um meio compartilhado, tecnologia sem conexão com o mecanismo de broadcast implícito. Como notado acima, ATM viola todas essas suposições.

2.5 Categoria de Serviços

O ATM Forum definiu 5 (cinco) categorias de serviços baseadas nas garantias de QoS. Estas categorias de serviços têm como objetivo atender as necessidades atuais e futuras das aplicações usando redes ATM. Os serviços oferecem diferentes compromissos de QoS em termos de atrasos e tolerância à perda. Estes serviços também diferem à maneira como a rede aloca a largura de banda e aplica diferentes funções de gerência de tráfego.

2.5.1 Serviço CBR

O serviço CBR (*Constant Bit Rate*) é usado por conexões com largura de banda dedicada, caracterizada por uma taxa de pico que está continuamente disponível durante todo o período de duração da conexão [ATM 98, Soares 95, Tanenbaum 97]. A origem pode a qualquer momento transmitir células, podendo também ocorrer períodos sem transmissão. O importante é que quando a largura de banda for requerida, a mesma deverá estar instantaneamente disponível para atender as necessidades de atraso e variação de atraso.

O serviço CBR é apropriado para aplicações que transmitem vídeo e voz em tempo real, mas não está restrito a essas aplicações [Giroux 99]. Exemplos destas aplicações incluem a videoconferência, o áudio interativo (telefonia), a distribuição de áudio/vídeo (televisão), a recuperação de áudio e vídeo (vídeo sob demanda). Para a telefonia e serviços de voz sob ATM, a solução baseada em AAL1 requer suporte CBR para obter vantagens do atraso e limites de variância [Tanenbaum 97, ATM 98].

A gerência de tráfego CBR é bastante simples, uma vez que a largura de banda é alocada para a conexão enquanto esta durar, independentemente da origem estar ou não transmitindo. No entanto, essa simplicidade pode resultar num grande desperdício de largura de banda.

2.5.2 Serviço VBR

O serviço VBR (*Variable Bit Rate*) é usado principalmente em aplicações cujas características de tráfego variam bastante, tais como: aplicações de vídeo ou quaisquer outras aplicações que tenham características de tráfego em rajada previsível ou conhecido [Giroux 99, Tanenbaum 97, Abadalla 96]. O tráfego gerado por essas aplicações normalmente alteram entre períodos de atividades e silêncio e/ou tem uma taxa de *bits* que varia continuamente. O serviço VBR é dividido em duas subcategorias de serviços baseados nos requisitos de atraso das aplicações:

- **Serviço real-time VBR:** o serviço VBR foi projetado para suportar eficientemente aplicações de tempo real, sendo apropriado para a transmissão de voz e vídeo [Giroux 99]. Para este serviço é esperado uma taxa de transmissão que varia com o tempo. Este tipo de transmissão pode ser descrito como *bursty* [ATM 98, Tanenbaum 97];
- **Serviço non-real-time VBR:** esse serviço compreende as aplicações que possuem tráfego em rajadas e não são sensíveis ao atraso e sua variação [Giroux 99]. Fazem parte desse serviço aplicações para transferência de dados que não são sensíveis ao tempo, mas onde a taxa de células perdidas é importante [ATM 98, Tanenbaum 97].

A gerência desse tipo de serviço impõe algumas restrições. Dentre os fatores que mais impedem a oferta do serviço VBR estão as dificuldades de caracterização dos tráfegos e a falta de conhecimento de como este tráfego é modificado através da rede [Abdalla 96].

2.5.3 Serviço ABR

O serviço ABR (*Available Bit Rate*) compreende as aplicações que possuem a habilidade de aumentar ou diminuir a taxa de transmissão conforme a disponibilidade oferecida pela rede. Este ajuste (aumento/redução) permite a realização de mudanças nas características de transferência da camada ATM, subsequentes ao estabelecimento da conexão. Com o ABR é possível dizer, por exemplo, que a capacidade entre dois pontos deve ser sempre de 5 Mbps, podendo haver, no entanto, picos de 10 Mbps. A partir de então, o sistema garantirá 5 Mbps o tempo inteiro e fará tudo que estiver a seu alcance para fornecer 10 Mbps quando for preciso, embora não possa dar essa certeza.

A principal razão, entretanto, para a criação do serviço ABR é o suporte econômico de tráfego de dados, onde um pacote é segmentado em várias células e a perda de qualquer uma delas não causará a retransmissão de todo o pacote por um protocolo da camada superior. Desta forma, o ABR é apropriado para aplicações que não possuem requisitos de *throughput* e atraso, além de requerer uma baixa taxa de perda. Exemplos de aplicações

para o ABR incluem: serviços de interconexões de LAN/*internetworking* com a tecnologia ATM, aplicações que transferem dados críticos como serviços de banco, comunicação de dados, tais como: chamadas de procedimentos remotos e serviços de arquivos distribuídos.

2.5.4 Serviço UBR

O serviço UBR (*Unspecified Bit Rate*) não realiza reserva de largura de banda. Corresponde às aplicações de tempo não-real, não requerem uma forte preocupação em relação ao atraso e suas variações, nem uma qualidade de serviço específica. Aplicações com esse tipo de serviço são utilizadas para transmitir rajadas não-contínuas de células. Especificamente, UBR não inclui negociação de largura de banda entre conexões, as aplicações acessam a largura de banda disponível de acordo com o que a rede pode oferecer, mas estas concordam em tolerar um nível não especificado de perdas de células [ATM 98, Tanenbaum 97].

O UBR pode oferecer uma solução satisfatória para aplicações menos exigentes. A maioria das aplicações de dados, tal como: a transferência de arquivos submetidos ao segundo plano de uma estação de trabalho com os mínimos requisitos de QoS, são mais tolerantes ao atraso e à perda de células. Alguns exemplos incluem a transferência de textos/dados/imagens, a troca de mensagens, distribuição, recuperação e terminais remotos. Estes serviços podem obter vantagens de qualquer largura de banda, resultando na economia com tarifas [ATM 98, Tanenbaum 97].

Existem ainda muitas questões a serem resolvidas em redes ATM para que se possa ter condições de atender às exigências de um suporte universal e global de informações [Rochol 99].

2.6 Camada de Adaptação

O termo camada de adaptação é devido a sua função, que é de adaptar o dado em uma forma desejável para ATM. O propósito da AAL é empacotar eficientemente as várias espécies de dados de alto nível, tais como: arquivos, amostragens de áudio, quadros de vídeo, em uma série de células que podem ser enviadas sob conexões ATM e reconstruídas em um formato apropriado para o receptor.

2.6.1 Classes de Serviços

Os serviços fornecidos pela camada de adaptação foram divididos pelo ITU-T em 04 (quatro) classes diferentes, de forma a atender os diversos tipos mídias. Alguns fatores foram levados em consideração, tais como: a natureza do tráfego gerado pela aplicação, a necessidade ou não de manter a relação temporal da informação no destino (aplicações sensíveis ao tempo) e se o serviço é ou não orientado à conexão.

Classe A: esta classe corresponde aos serviços VBR orientados à conexão com vinculação de tempo entre origem e destino. É utilizada por aplicações sensíveis ao tempo e que enviam e recebem dados a taxas constantes. Essas aplicações também necessitam que o atraso da fonte ao destino seja limitado. Este tipo de aplicação inclui comunicação de áudio e vídeo codificados a taxas de bits constantes.

Classe B: esta classe corresponde aos serviços VBR orientados à conexão com vinculação temporal entre origem e destino. É destinada às aplicações sensíveis ao tempo com taxas de bits variáveis. As aplicações enviam dados às taxas de bits variáveis, mas requerem atrasos limitados. Um exemplo típico dessa classe é a transmissão de vídeo codificado com taxas de bits variáveis.

Classe C: esta classe corresponde aos serviços VBR orientados à conexão e sem vinculação temporal. É destinada a aplicações de dados orientadas à conexão. Um exemplo dessa classe é a transferência de dados orientado à conexão.

Classe D: esta classe corresponde aos serviços VBR não orientados a conexão e sem vinculação de tempo entre origem e destino. É destinada a aplicações que enviam e recebem dados utilizando datagramas sem conexão. Um exemplo típico é o tráfego IP.

As principais características destas classes podem ser ilustradas na Tabela 2.1.

Características	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Taxa de bit	Constante	Variável		
Temporização entre origem e destino	Requerida		Não requerida	
Tipo de transporte	Orientado à conexão			Não orientado à conexão
Protocolo AAL	AAL-1	AAL-2	AAL-3/4 ou AAL-5	AAL-5
Aplicações típicas	Voz ou vídeo com taxa constante	Vídeo com taxa variável	Dados Comp. Frame Relay, X.25	Dados TCP/IP, SMDS

Tabela 2.1 – Principais características das classes.

Além destas classes, o ITU-T definiu recentemente mais as classes X e Y, no entanto, essas classes não estão bem documentadas[ITU 97].

2.6.2 Tipos de AAL

Com a finalidade de suportar estas diferentes classes de serviços, foram propostas diferentes camadas de adaptação, que serão descritas a seguir.

AAL1

Suporta serviço da classe A. Na origem realiza a função de empacotamento, convertendo um fluxo de bits à taxa constante em células. No destino realiza o desempacotamento, desmontando células em fluxos à taxa constante de bits. A AAL1 providencia que a taxa de entrega de bits de informação na recepção seja a mesma que foi enviada, além de não permitir a entrega antes do tempo ou com atrasos. No caso de ocorrência de alguns desses problemas, poderá ocorrer perdas de bits, o que implica na queda da qualidade de transmissão [Tanenbaum 97, Soares 95, Fluckinger 95].

A camada AAL1 possui um mecanismo para detecção e correção de erros que é importante para algumas aplicações de vídeo, especialmente para meios propensos a erros, tal como: redes ATM sem fio. AAL1 é a melhor escolha para suportar vídeo comprimido por codificadores H.261 ou H.263, e a sua principal desvantagem é o suporte de aplicações com tráfego CBR. Futuras aplicações provavelmente obterão vantagens das opções de transmissão da VBR [Coffey 99, Tanenbaum 97, Soares 95].

AAL2

Fornece serviço da classe B. Vídeo e áudio compactado ou comprimido são exemplos típicos dessa classe. Inicialmente esta camada foi projetada para oferecer o suporte necessário para serviços de vídeo sobre redes ATM, mas como ainda encontra-se indefinida, as camadas AAL1 e AAL5 estão sendo mais usadas para este fim. De qualquer maneira, órgãos de padronização estão definindo uma primeira versão da AAL2 com algumas diferenças sutis. A camada AAL2 está voltada particularmente para a agregação de vários fluxos de voz compactados à taxa variável em um circuito virtual ATM, que é um serviço da classe B importante para redes de longa distância [Coffey 99, Tanenbaum 97, Soares 95].

AAL3/4

Fornece serviços das classes C e D. A principal função desta camada é a segmentação e remontagem de mensagens em células, e vice-versa. Além disso, esta camada oferece a

vantagem de permitir um transporte intercalado de diferentes mensagens sob o mesmo circuito virtual, através da utilização de um identificador de mensagens. Esta característica é útil no contexto de servidores *multicast* ou sem conexão. Isto permite ao servidor transmitir células individuais de uma mensagem sem remontagem no servidor. Uma desvantagem é não utilizar os 48 *octetos* do campo de informações do usuário.

Esta camada não oferece requisitos e funcionalidades para transmissão de dados em tempo real, ou seja, sensíveis ao retardo e ao tempo, como por exemplo, áudio e vídeo.

AAL5

A exemplo da AAL3/4 fornece serviços das classes C e D. Esta camada foi elaborada para operar de forma mais simples e eficiente que a AAL3/4 [Soares 95]. O ATM Forum propôs a AAL5 pela iniciativa de alguns fabricantes de equipamentos que alegavam que o protocolo da camada AAL3/4 não atendia às suas necessidades de transferência de dados em alta velocidade por três motivos [Rochol 99]: redundância, pois cada célula de 53 bytes da AAL3/4 tem 5 bytes de cabeçalho e 4 bytes adicionais de sobrecarga de segmentação; pouca eficiência do mecanismo de detecção de erros e um contador de sequência de somente 4 bits para a detecção de quadros espúrios ou fora de ordem.

A principal funcionalidade da AAL5 é oferecer um serviço com menos redundância e uma maior capacidade de detecção de erros ou quadros espúrios, ou fora de ordem [Rochol 99]. Esta fornece uma melhor utilização da largura de banda disponível pela não utilização de um campo adicional. Uma desvantagem da AAL5 é que uma célula corrompida sempre provocará o descarte de uma mensagem.

Um dos principais motivos da utilização da AAL5 é o aspecto financeiro. Desde que as aplicações de vídeo suportam uma capacidade de sinalização, a AAL5 está pronta para ser implementada em um equipamento ATM. Outra vantagem do uso da AAL5 é que a utilização adota uma subcamada de convergência nula, não sendo necessário definir nenhuma funcionalidade adicional para a rede. Existem duas categorias de vídeo que são

melhor transmitidas sobre ATM usando AAL5. Vídeo que está sendo enviado sobre redes heterogêneas provavelmente será enviado via AAL5. Essa seqüência de vídeo provavelmente será carregada como pacotes IP sobre ATM e serão codificadas em formatos proprietários, tais como: *Quicktime* ou AVI (*Audio Video Internet*). A AAL5 não proverá garantias de qualidade de serviços da rede para essa classe de serviço. A segunda classe de vídeo será o tráfego CBR que é nativo para ATM. Esta categoria de vídeo poderá beneficiar-se das garantias de qualidade de serviço da AAL5 [Coffey 99].

AAL6

Esta camada ainda está em estágio de discussão. O ATM Forum está investigando uma AAL adaptada ao empacotamento de fluxos de dados multimídia, em particular para vídeo MPEG (*Moving Pictures Experts Group*) e MPEG-II. As discussões incluem o uso de técnicas FED (*Forward Error-Detection*) para aumentar a confiabilidade na comunicação ao nível onde nenhum recobrimento de erro extra é necessário e para suportar requisitos de sincronização MPEG.

2.7 Qualidade de Serviço em Redes ATM

A qualidade de serviço é uma questão importante para as redes ATM devido a sua utilização no tráfego de informações em tempo real, tais como: áudio e vídeo [Tanenbaum 97]. A QoS é definida por um conjunto de parâmetros que caracterizam os requisitos de desempenho de uma conexão da origem até o destino [Giroux 99, Abdalla 96]. Na Tabela 2.2 são ilustrados os parâmetros de QoS, classificados de acordo com a sua natureza (parâmetro de tráfego, parâmetros negociáveis e parâmetros não-negociáveis).

Taxa de Perda de Células (*Cell Loss Ratio - CLR*): para uma conexão ATM é definida como a razão entre o número de células perdidas ou descartadas e o número total de células transmitidas. Essa taxa mede a fração de células transmitidas que são ou não entregues com tanto atraso que perdem a utilidade. Em ATM, a perda de células em uma conexão pode ser afetada de diversas maneiras. Em uma conexão de vídeo, a perda pode representar a

ausência de uma parte de um quadro ou mesmo de todo ele. Numa conexão de áudio e voz, ela será percebida como uma quebra na continuidade da apresentação. Em aplicações de dados, a perda de uma célula pode causar a retransmissão pelos protocolos das camadas superiores dos pacotes danificados. Essas retransmissões podem levar a uma situação mais caótica, se a causa da perda de células for devido a um estado de congestionamento.

Atraso de Transferência de Célula (*Cell Transfer Delay* – CTD): representa o tempo gasto na transmissão de uma célula entre a origem e o destino. O CTD pode ser causado por vários fatores, dentre estes, estão os atrasos de codificação, empacotamento, propagação, transmissão, comutação, fila e remontagem [Giroux 99, Abdalla 96].

Natureza	Sigla	Parâmetro	Significado
QoS Negociáveis	CDV	Cell Delay Variation	Variação nos tempos de entrega da célula
	CTD	Cell Transfer Delay	Tempo (médio e máximo) para entrega de célula
	CLR	Cell Loss Ratio	Fração de células perdidas ou entregues com atraso
QoS não- negociáveis	CER	Cell Error Ratio	Fração de células entregues com erros
	SECBR	Severely-Error Cell Block Ratio	Fração de blocos de rajada com erros
	CMR	Cell Misinsertion Ratio	Fração de células entregues no destino incorreto
Tráfego	PCR	Peak Cell Rate	Taxa máxima que as células podem ser enviadas
	SCR	Sustained Cell Rate	Taxa média de transmissão a longo prazo
	MCR	Minimum Cell Rate	Taxa de transmissão mínima aceitável
	MBS	Maximum Burst Size	Tamanho máximo da rajada
	CDVT	Cell Delay Variance Tolerance	O jitter máximo aceitável

Tabela 2.2 – Classificação de alguns parâmetros de qualidade de serviço

Variação do Atraso da Célula (*Cell Delay Variation* – CDV): descreve a variação no atraso de transferência de células da origem até o destino. Esta variação de atraso pode ser causada por diversos fatores, que podem ser referentes tanto ao terminal do usuário quanto à rede. No terminal do usuário encontra-se a multiplexação de células de duas ou mais conexões, a multiplexação na camada de adaptação (AAL) e a multiplexação com as

células de manutenção (*Operation and Maintenance* - OAM). A variação de atraso na rede é causada principalmente pelo armazenamento de células em um elemento de comutação ATM e altera a forma do fluxo de células que chega no elemento seguinte.

Taxa de Erros de Células (*Cell Error Ratio* – CER): descreve as células que tiveram algum de seu conteúdo (cabeçalho ou carga útil) modificado erroneamente, e que não podem ser recuperadas pelas técnicas de correção de erros. A CER é influenciada pelas características de erros do meio físico, distância física, e as características do meio de transmissão.

Taxa de Blocos de Células com Erros Rígidos (*Severely Errored Cell Block Ratio* - SECBR): representa a sequência de células transmitidas consecutivamente em uma dada conexão. A SECBR ocorre quando uma ou mais células erradas, células perdidas, ou células mal-interpretadas são observadas em um bloco de células recebido. Para propósito de medidas práticas, um bloco de células normalmente corresponde ao número de células de informação do usuário transmitido entre células OAM sucessivas.

Taxa de Células Mal-Interpretadas (*Cell Misinsertion Rate* – CMR): indica as células que são carregadas sobre um canal virtual indevido, ou seja, ao qual esta não pertence. A ocorrência de células mal-interpretadas surge normalmente devido a um erro não detectado no cabeçalho. A probabilidade da ocorrência desse tipo de erro no cabeçalho da célula mapeada dentro de um VPI/VCI também depende do número de valores de VPI/VCI que são destinados e estão sendo ativamente usados.

2.7.1 Descritores de Tráfego

O descritor de tráfego ATM é uma lista genérica de parâmetros que podem ser usados para capturar as características de tráfego essenciais de uma conexão [Giroux 99, Abdalla 96]. Os descritores de tráfego são necessários para assegurar uma alocação de recursos apropriada e garantir a QoS através de uma rede ATM.

A Taxa de Pico de Célula (*Peak Cell Rate* - PCR): representa a taxa máxima de células que podem ser submetidas pelo usuário na conexão ATM. O inverso do PCR representa o tempo mínimo teórico entre as chegadas de células em uma fila. Esse parâmetro pode ser inferior à capacidade de largura de banda.

Taxa Média de Célula (*Sustainable Cell Rate* – SCR): representa a taxa média de envio de células atingida ao longo de um intervalo predeterminado. O inverso da SCR representa o tempo médio entre chegadas de células com relação à velocidade do canal. Em serviços CBR, este parâmetro será igual à PCR, porém nas demais categorias, a SCR será significativamente inferior.

Tamanho da Rajada Máxima (*Maximum Burst Size* - MBS): especifica o número máximo de células que podem ser transmitidas pela origem em taxa de pico, obedecendo o valor negociado com SCR.

Taxa Mínima de Células (*Minimum Cell Rate* – MCR): representa a taxa mínima de células transmitidas pelo usuário e que é garantida pela rede. Esta é usada para serviço com largura de banda sob demanda, para assegurar que uma conexão não termine quando não existe mais largura de banda disponível.

Tolerância à Variação do Atraso de Célula (*Cell Delay Variation Tolerance* - CDVT): identifica a variação (*jitter*) permitida nos tempos de transmissão de célula. Esta variação ocorre normalmente devido a multiplexação estatística de várias conexões através do canal de transmissão [Abdalla 96].

Para uma origem perfeita que opera em PCR, não haverá célula adiantada nem atrasada, nem mesmo um picossegundo. Em uma origem real que opera em PCR, ocorrerá alguma variação nos tempos de transmissão de célula.

A CDVT é usada juntamente com a PCR e a SCR para assegurar que células que foram geradas pela origem num intervalo apropriado, mas que sofreram uma variação no atraso devido aos efeitos da multiplexação, continuem sendo vistas como células em conformidade com seus descritores.

2.8 Plano de Controle

O plano de controle é responsável pela sinalização necessária para ativar, manter, controlar e desativar conexões que podem ocorrer entre dois ou mais participantes de uma conexão.

2.8.1 Sinalização

A sinalização é o processo utilizado para o estabelecimento, supervisão e rompimento das conexões ATM (VPCs e VCCs) de forma dinâmica. O processo de sinalização deve suportar:

- estabelecimento, manutenção e liberação de conexões, que podem ser sob demanda, semipermanentes, e que devem ser administradas de forma a manter as características solicitadas e descritas pelos parâmetros de qualidade de serviço [Koliver 98];
- suporte a configurações ponto a ponto, multiponto e difusão;
- suporte às chamadas com vários participantes, incluindo a possibilidade de adição e remoção de conexões a uma já existente, bem como a entrada e a saída de participantes;
- renegociação das características do tráfego de uma conexão já estabelecida.

Todo processo de sinalização é de competência do plano de controle que utiliza a camada ATM para o transporte das células com informações de sinalização. O protocolo de sinalização definido pela recomendação Q.2931 opera sobre uma camada própria, denominada de AAL de sinalização (*Signalling AAL – SAAL*). A camada SAAL inclui uma camada de convergência específica de serviço (*Service Specific Convergence Sublayer –*

SSCS), encarregada de providenciar a entrega confiável de mensagens de sinalização [Soares 95, Tanenbaum 97].

As informações de sinalização em redes ATM são transportadas em conexões próprias, separadas das conexões utilizadas para o transporte de informações do usuário. Esse tipo de procedimento é comumente conhecido como sinalização de banda separada (*out of band signalling*), é uma característica encontrada em redes de comutação de pacotes[ATMForum-A 99, ATMForum-B 99, Soares 95].

Conexões ATM de sinalização são conexões ponto a ponto denominadas VCCs de sinalização (*Signalling VCCs* - SVCCs). A alocação de SVCCs a terminais não é permanente e são estabelecidas e liberadas através dos processos de metassinalização. Na comunicação durante uma fase de metasinalização utiliza-se uma conexão especial denominada VCC de metassinalização (*Signalling VCC*).

O ATM Forum definiu como parte da UNI 3.1 um mecanismo de sinalização para redes ATM baseado no protocolo de sinalização definido pela ITU-T [ITU-T 95, Soares 95, ATMForum-A 99]. A Figura 2.9 ilustra o exemplo de uma seqüência de mensagens durante o estabelecimento de uma conexão ponto a ponto.

Uma fonte que deseja estabelecer uma conexão, formula e envia pela rede através de sua UNI, uma mensagem *SETUP*, contendo o endereço de destino, o tráfego desejado e parâmetros de qualidade de serviço. Esta mensagem *SETUP* é enviada para o primeiro comutador ATM, o qual responde com um reconhecimento local *CALL PROCEEDING*. Este comutador, então, invocará um protocolo de roteamento ATM para propagar a requisição de sinalização através da rede. A mensagem *SETUP* será encaminhada de comutador a comutador até o destino. O destino pode escolher aceitar ou rejeitar a aquisição da conexão. Caso o destinatário aceite a conexão, uma mensagem *CONNECT* retornará através da rede ao longo do mesmo caminho para a fonte. Uma vez que a fonte recebeu e reconheceu (através da mensagem *Connect ACK*) a mensagem *CONNECT*, esta

pode então começar a transmitir os dados na conexão. Se o destinatário rejeitar a requisição da conexão, ele retorna uma mensagem *RELEASE*, á qual é também enviada de volta para a fonte, limpando a conexão. A mensagem *RELEASE* pode ser usada pelos terminais ou pela rede para limpar uma conexão estabelecida.

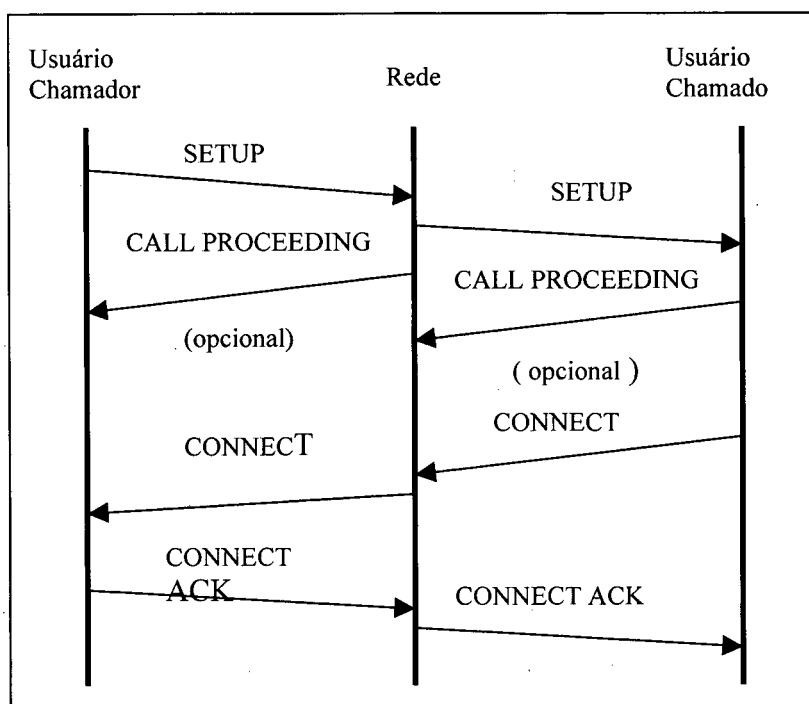


Figura 2.9 – Sequência de mensagens para estabelecimento de conexões

Um dos objetivos da sinalização é transferir parte da complexidade envolvida na implementação de uma conexão para o protocolo de sinalização. Sendo assim, o protocolo de transferência de dados pode ser mantido o mais simples, rápido e eficiente possível.

2.8.2 Endereçamento

O ATM Forum adotou uma estrutura de endereçamento e um protocolo de roteamento completamente novo e independente para redes ATM, conhecido como modelo de Subrede ou Coberto (*overlay*) [Sprenkels 96, ATMForum-A 99]. Um dos objetivos desse modelo é desacoplar a camada ATM de qualquer protocolo existente. Em consequência, todos os protocolos existentes poderiam funcionar sobre a rede ATM, bastando apenas a existência

de algum protocolo de resolução de endereços ATM para mapear os endereços das camadas superiores, tais como endereços IP (*Internet Protocol*), em seus correspondentes endereços ATM.

Os endereços ATM são formados por 20 bytes e são utilizados para identificar um elemento conectado na rede durante a fase de estabelecimento da conexão. Os formatos de endereços utilizados em redes são ilustrados na Figura 2.10.

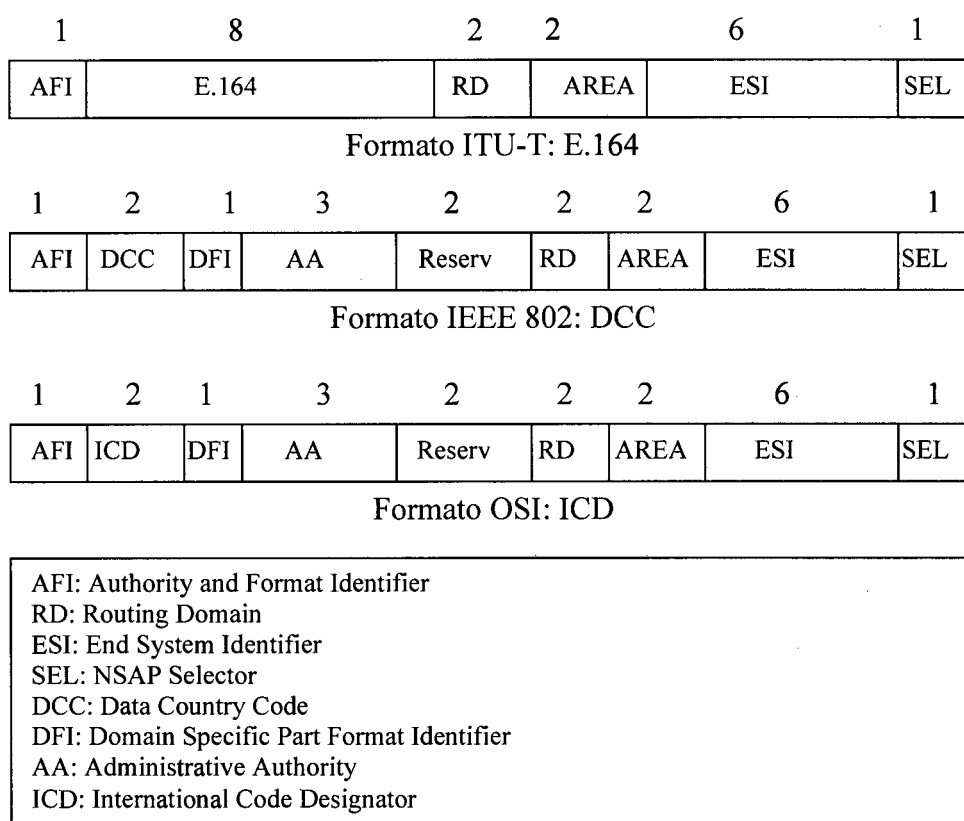


Figura 2.10 – Formatos de endereços utilizados em redes ATM

As especificações sobre cada um dos campos dos formatos acima podem ser encontradas em [ATMForum-A 99]; neste trabalho será apresentado apenas a diferença entre os três formatos. A diferença entre os formatos acima está relacionada à natureza dos campos AFI (*Authority and Format Identifier*) e IDI (*Initial Domain Identifier*) da seguinte maneira:

- formato ITU-T:E.164: nesse caso o AFI é um valor numérico que corresponde ao formato E.164.
- formato IEEE 802:DCC: nesse caso o IDI é um DCC (*Data Country Code*). Este identificador é especificado em ISO 3166. Esses endereços são administrados pela ISO *National Member Body* em cada país.
- formato OSI:ICD: neste caso o IDI é um ICD (*International Code Designator*); estes são alocados pela ISO 6523. Os códigos ICD identificam organizações particulares internacionais.

Os formatos DCC e ICD são úteis para empresas ou provedores de serviços de rede privada ATM que desejam estabelecer suas próprias estruturas de endereçamento. Redes públicas ATM que seguem as recomendações do ITU-T necessitam apenas lidar com endereços do formato E.164. Esses endereços são fornecidos pelas autoridades que fornecem o serviço de rede de maneira análoga ao serviço oferecido pelas companhias telefônicas [Soares 95].

Apesar das redes ATM privadas possuírem três formatos de endereços diferentes, qualquer elemento de rede pode estabelecer uma conexão com outro usuário, independente dos formatos de endereços adotados pelos dois pontos.

2.8.3 Roteamento

Roteamento consiste da localização do sistema final alvo e seleção do melhor caminho possível para alcançá-lo. Em ATM, o roteamento deve oferecer novos requisitos que são o roteamento de QoS e escalabilidade. O roteamento de QoS é requerido para suportar aplicações de dados tradicionais e aplicações de tempo real, tal como videoconferência sob uma mesma infra-estrutura física. Escalabilidade é requerido para suportar redes pequenas e grandes utilizando apenas um protocolo.

Portanto, um pedido de conexão tem que ser roteado pela rede do sistema final de origem até o sistema final de destino. Se os sistemas finais são conectados no mesmo comutador

nenhum roteamento será necessário. Caso contrário, o pedido de conexão deve ser roteado através da rede.

No exemplo da Figura 2.11 existem diferentes rotas possíveis para o estabelecimento de conexão entre os sistemas finais A e B. Um pedido de conexão do sistema final A é propagado através da rede de comutador a comutador, estabelecendo a conexão pelo caminho percorrido, até o pedido alcançar o sistema final B. Então, B pode aceitar e confirmar, ou rejeitar o pedido de conexão. Em caso positivo, a origem é notificada que a conexão foi aceita, caso contrário a conexão é descartada. Portanto, o roteamento do pedido da conexão e o subsequente fluxo de dados, caso a conexão seja aceita, é controlado pelos protocolos de roteamento ATM. Esses protocolos produzem rotas baseadas no endereço de destino, no tráfego e nos parâmetros de QoS requisitados pela origem.

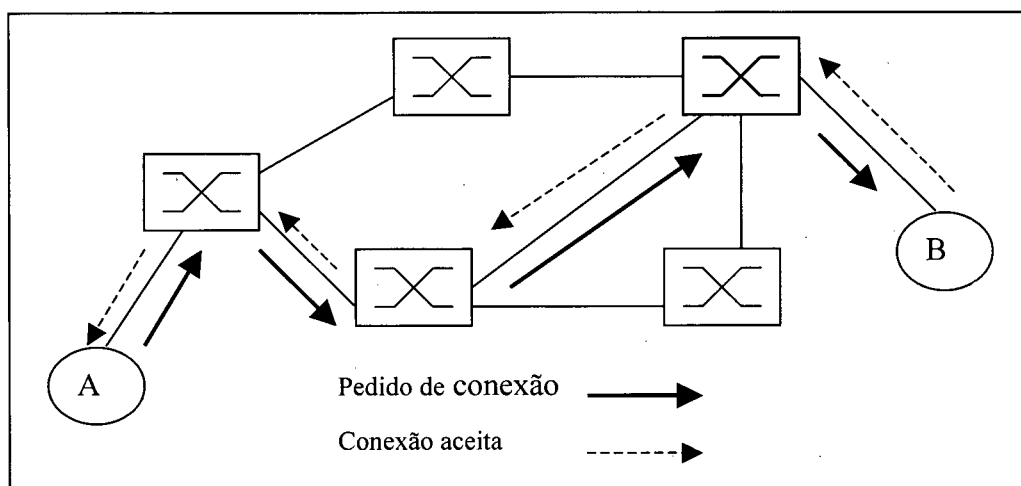


Figura 2.11 – Exemplo de roteamento em uma rede ATM

A escolha de endereçamento de Sub-rede ou Coberto teve como resultado o desenvolvimento de um protocolo de roteamento independente e completamente novo para redes ATM [IBM 98]. Cada elemento NNI necessita de informações sobre a topologia da rede para ser capaz de avançar um pedido de estabelecimento de conexão na direção correta.

Protocolos de Roteamento ATM

O primeiro protocolo para roteamento em redes ATM é chamado de IISP (*Interim Interswitch Signaling Protocol*), também conhecido como PNNI (*Private Network-network Interface*) fase 0. O IISP é utilizado para conectar um grupo de comutadores ATM em domínios diferentes [Aubry et al 97 ATMForum-F 94]. As informações de endereçamento para esse protocolo são estáticas, ou seja, devem ser definidas manualmente pelo administrador da rede ATM.

O PNNI é uma especificação do ATM Forum para protocolos entre comutadores em uma rede privada ATM [ATMForum-G 96, ATMForum-H, Aubry et al. 97]. O roteamento PNNI é baseado em técnicas de roteamento de acordo com o estado do *link*. Além disso, este protocolo inclui duas características importantes que torna-o apropriado para o uso em ambiente de comunicação atual:

- suporte para roteamento baseado em QoS, que é requerido para aplicações com requisitos de tempo real;
- um mecanismo hierárquico que permite escalabilidade para redes de longa distância. O uso de um simples protocolo de roteamento para toda a rede, como oposto à estratégia da Internet que utiliza diferentes protocolos em diferentes níveis. A utilização de um protocolo único permite o roteamento de QoS fim a fim e, por conseguinte, diminui a complexidade da configuração associada com múltiplos níveis de roteamento.

Em geral, o protocolo foi desenvolvido para atender as necessidades das aplicações com requisitos de tempo real, tal como largura de banda garantida e atraso limitado. Estes requisitos estabelecem demandas especiais em roteamento e sinalização que são endereçadas pelo PNNI, e que não estão presentes em protocolos utilizados nas redes tradicionais, como por exemplo a Internet.

Estratégias de Seleção de Caminhos

A regra de seleção de caminho não é apenas computar um possível caminho de um comutador fonte a um comutador de destino. O caminho computado deve levar em consideração os requisitos das conexões de chegada, a largura de banda, os limites de tempo real, etc. A longo prazo, também é desejável um balanceamento da carga da rede.

As estratégias usadas para rotear conexões correspondem às várias classes de serviços definidas pelo PNNI. Essas estratégias serão discutidas a seguir.

Modo de Seleção do Caminho

Basicamente existem dois modos de realizar a seleção do caminho: o modo pré-computado e modo sob-demanda.

No modo pré-computado o caminho ótimo de um comutador fonte para todos os outros comutadores na rede são computados ao mesmo tempo e armazenados na tabela de roteamento. É claro, as rotas são automaticamente recomputadas quando ocorre uma alteração significativa ou mudanças nas métricas dos *links*. A vantagem do modo pré-computado é a capacidade de prover caminhos rapidamente, apenas recuperando as rotas das tabelas de roteamento. As rotas são computadas utilizando um ou mais critérios gerais. Este modo não pode ser usado se a computação do caminho levar em consideração o critério específico para cada conexão estabelecida.

Nessas condições, é necessário usar o modo sob-demanda. Neste caso, um caminho é computado individualmente para cada pedido de rota. É claro, isso reduz o tempo de processamento, pois esse método computa um caminho melhor ajustado aos requisitos da aplicação.

Cr terio de Seleção do Caminho

Encontrar um “melhor caminho” de um comutador fonte para um ou mais comutadores destinos,   de fato um problema minimização. Isso pode ser realizado de acordo com um ou mais cr terios. Nesse trabalho será apresentado duas formas de resolver este problema. A primeira   através da computação do maior caminho e a segunda pela computação do menor caminho.

A computação de um maior caminho do comutador fonte para o comutador de destino, significa encontrar um caminho que *maximiza* um parâmetro do *link*. Para um melhor entendimento desta questão, será considerado a largura de banda como o parâmetro a ser maximizado. Na Figura 2.12 é ilustrado uma rede, na qual a largura de banda disponível em cada *link*   mostrada. Neste exemplo, o maior caminho do comutador 0 ao comutador 4 é a seqüência de comutadores {0,1,3,4}. Consequentemente, nesse caminho o *link* com menos largura de banda é um entre os comutadores 3 e 4, a capacidade desse caminho   20Mbps. Ou seja, se uma conexão requer mais de 20 Mbps, então esta não pode ser roteada. Isso significa que o fato do maior caminho ter sido selecionado garante que não existe outros caminhos na rede capazes de realizar o roteamento dessas conexões.

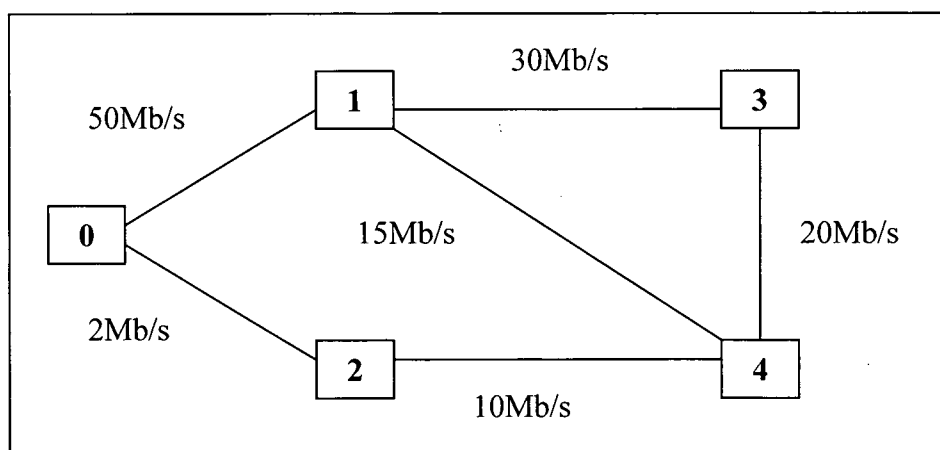


Figura 2.12 – Rede mostrando a largura de banda disponível em cada *link*

A forma mais simples para computar um menor caminho é efetuar os cálculos de acordo com o número de *hops*. Portanto, o melhor caminho entre dois computadores será o caminho com o menor número de *hops*. Considerando novamente o exemplo da Figura 2.12, o menor caminho entre os computadores 0 e 4 é a seqüência {0,1,4}. No entanto, pode ser observado que existe um possível caminho adicional, ou seja, computadores {0,2,4}. Para selecionar o menor caminho é necessário levar em consideração a largura de banda disponível. Nesse caso particular, o caminho ótimo será {0,1,4}.

Mas, geralmente, o menor caminho pode ser computado de acordo com o peso associado a cada *link*. Neste caso o menor caminho seria um com a soma mínima de pesos (Figura 2.13). Sendo assim, o menor caminho do computador 0 ao computador 4 é a seqüência {0,1,3,4}, uma vez que o peso total é 4 (quatro). Pode ser observado que se os pesos de todos os *links* nas redes são iguais, a computação do menor caminho em pesos é equivalente à computação do menor caminho em número de *hops*. Em PNNI, esses pesos podem ser definidos para cada *link* e são conhecidos como pesos administrativos.

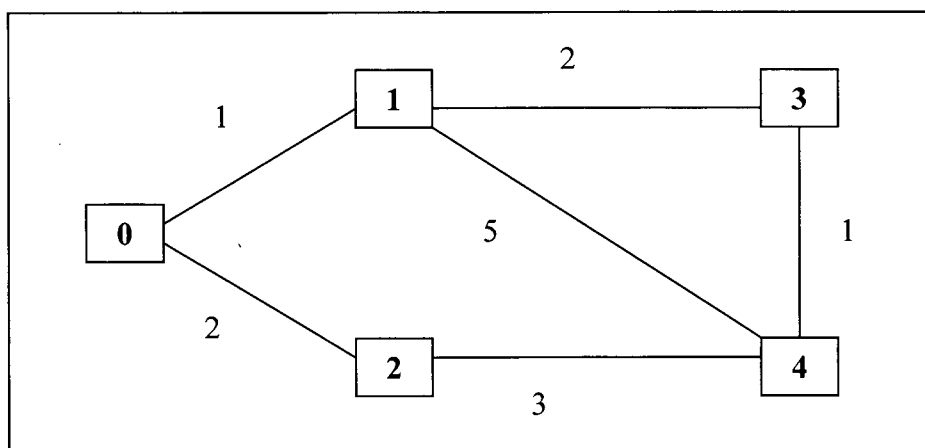


Figura 2.13 – Rede mostrando os pesos em cada *link*

Roteamento de Conexões UBR e ABR

As conexões UBR são roteadas por padrão, de acordo com o menor caminho baseado no peso administrativo. O menor caminho entre dois computadores é um com a menor soma do

caminho administrativo. A razão para essa escolha é que o menor caminho permite controlar o tamanho do caminho selecionado, e conseqüentemente, a quantidade de recursos da rede envolvidos.

O menor caminho UBR pode ser usado em um modo pré-computado, desde que nenhuma exigência de largura de banda seja determinada pelas conexões que estão competindo pelo canal.

As conexões ABR são um pouco mais complexas. Na verdade tais conexões podem ser definidas de duas formas:

- se a MCR é nula (largura de banda que deve ser garantida para a conexão), a conexão comporta-se exatamente como um serviço UBR. Desta maneira, o mesmo modo pré-computado é utilizado;
- se a MCR é determinada, então, esse valor mínimo deve ser garantido para a conexão. O caminho computado deve suportar a MCR requisitada e, portanto, a computação deveria ser feita sob-demanda para assegurar que um caminho será encontrado, se existe algum caminho

Em um ambiente de rede específico, o balanceamento de carga deve ser requerido. Para que o balanceamento de carga seja possível é necessário forçar a computação do maior caminho para conexões UBR e CBR.

Para as conexões UBR e ABR este tipo de computação pode ser feito em modo pré-computado. No caso especial de ABR com MCR determinada, o algoritmo deve verificar se o caminho selecionado suporta a largura de banda requerida, pois, se caminho computado não suportar a largura de banda requerida, obviamente que não existe outro caminho na rede que suporte essa largura de banda, a conexão pode portanto ser rejeitada.

A desvantagem da utilização do maior caminho é que o tamanho do caminho não pode ser controlado.

Roteamento de Conexões rt-VBR, nrt-VBR e CBR

Estes tipos de conexões são roteadas usando o menor caminho sobre um peso administrativo, essa decisão é motivada por dois aspectos:

- importante para conexões que possuem limites de tempo real (rt-VBR, CBR) para reduzir, tanto quanto possível, o tempo de transmissão e *jitter*. Portanto, o uso de rotas curtas reduz potencialmente esses dois parâmetros;
- conexões VBR e CBR são tratadas como conexões “largura de banda reservada”, ou seja, a largura de banda requisitada é realmente reservada no equipamento de comutação. Reduzindo o tamanho da rota contribui para reduzir globalmente os recursos alocados na rede.

Depois que os requisitos da largura de banda são especificados para cada conexão que está competindo por um canal, o algoritmo de seleção do caminho deve ser executado no modo sob-demanda. O algoritmo procede da seguinte maneira:

- todos os *links* da rede que não suportam a largura de banda requisitada pelas conexões de chegada são encerrados;
- o menor caminho de acordo com o peso administrativo é computado;
- se existe mais de um menor caminho, aquele com o número mínimo de saltos é selecionado;
- se existe mais de um menor caminho com número mínimo de pulos, então aquele com a maior largura de banda disponível é selecionado.

Roteamento de Conexões Multicast

Em redes ATM, as conexões multicast compartilham vários *links* em um caminho estabelecido de uma fonte para vários comutadores de destino. Portanto, é necessário um tratamento especial para essas conexões obterem vantagens das propriedades ATM.

Na Figura 2.14 é ilustrado um exemplo para facilitar o entendimento de roteamento de conexões multicast. O sistema final A estabelece uma conexão multicast com o sistema final B. Um possível caminho será através dos comutadores {0,1,3,4}. No entanto, parte dessa conexão é alocada para o sistema final C. Sendo assim, o caminho entre os sistemas finais A e C deve compartilhar quantos *links* forem possíveis com o caminho de A até B. Desta maneira, os *links* comuns entre duas conexões de células não são duplicados. Quer dizer, se uma célula tem que ser transmitida do sistema final A para os sistemas finais B e C, existe uma célula transitando sobre um *link* comum e essa será duplicada no comutador onde esse *link* se desfaz. Para este exemplo, as células são duplicadas no comutador 3.

Alguns princípios devem ser considerados para alcançar a computação do caminho:

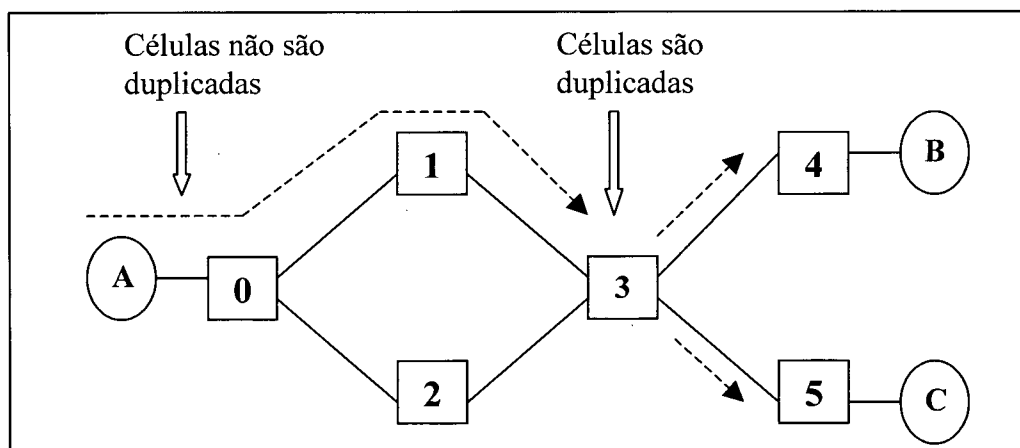


Figura 2.14 – Roteamento de conexões multicast

- na primeira conexão o menor caminho de acordo com o administrativo é computado. Os *links* usados para essas conexões são armazenados em uma estrutura de dados dedicada chamada de árvore multicast;
- quando uma parte é adicionada para a conexão, todos os primeiros *links* sob uma árvore multicast são configurados para ser “*cost-less*” para a computação do caminho. Então, o menor caminho sobre o peso administrativo para a parte de destino é computado. Os *links* adicionais usados para essa nova conexão são adicionados na árvore multicast;
- quando uma parte é removida, todos os *links* usados para a conexão para essa parte são removidos da árvore multicast.

2.9 Políticas para Controle de Conexões ATM

A utilização de conexões comutadas solicitadas pela aplicação do usuário podem consumir recursos importantes da rede (largura de banda, espaço em *buffers* para as células nos comutadores, etc.), que são compartilhados e finitos. Desta maneira, é necessário manter um policiamento sobre esses recursos para permitir o balanceamento de carga da rede, bem como estimar possíveis necessidades de atualização ou destacar eventuais sobrecargas ou gargalo na rede.

Quando um usuário requisita o estabelecimento de uma nova SVC, a rede verifica a disponibilidade de recursos para a conexão. Se existirem recursos, a conexão é aceita, caso contrário a conexão é rejeitada. Essa função de controle é denominada *Call Admission Control* (CAC), que pode ser representada pelo diagrama simplificado na Figura 2.15 [Abdalla 96].

Atualmente, o serviço de SVC implementado nos comutadores ATM disponíveis no mercado realiza a invocação a uma CAC. Desta forma, a solicitação de uma SVC somente será aceita se a rede possuir recursos suficientes para garantir a QoS solicitada pela SVC. A existência somente dessa função de controle não é suficiente para uma rede ATM em atividade, como é o caso do ambiente de estudo. Mecanismos adicionais são necessários para controlar a aceitação das SVCs e, dessa maneira, administrar os recursos finitos da rede que serão divididos entre os usuários. Esses mecanismos adicionais podem ser chamados de Política de Controle de SVC ou simplesmente Política de SVC, que serão descritos a seguir.

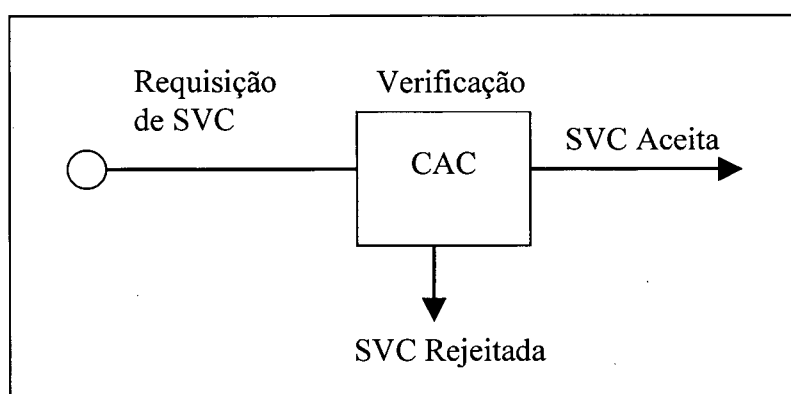


Figura 2.15 – Visão Lógica da função CAC em uma rede ATM

Uma rede ATM que controla suas conexões comutadas unicamente através da CAC pode ter sua política de SVC descrita como “o primeiro que pede consegue” [Beijnum 97, Sprenkels 98]. Todos os usuários possuem prioridades iguais na obtenção dos recursos da rede. A qualquer momento um usuário pode requisitar grandes porções de recursos e, uma vez conseguidos, podem ser considerados inaceitáveis em alguns tipos de redes. Por exemplo, em uma rede de 155 Mbps um determinado usuário poderia solicitar uma conexão de 155 Mbps no domingo à noite quando houvessem recursos. A CAC iria admitir a conexão e, na segunda-feira, os recursos estariam esgotados para novas conexões. Portanto, são necessários outros mecanismos mais refinados que o simples “o primeiro que pede consegue” implementado pela CAC.

2.9.1 Localização da Política de Controle

Uma SVC passa por três fases distintas durante seu ciclo de vida, as quais podem sofrer interferência da política de controle: estabelecimento, duração e desconexão, como podem ser ilustrados na Figura 2.16 [Beijnum 97, Soares 95, Sprenkels 98].

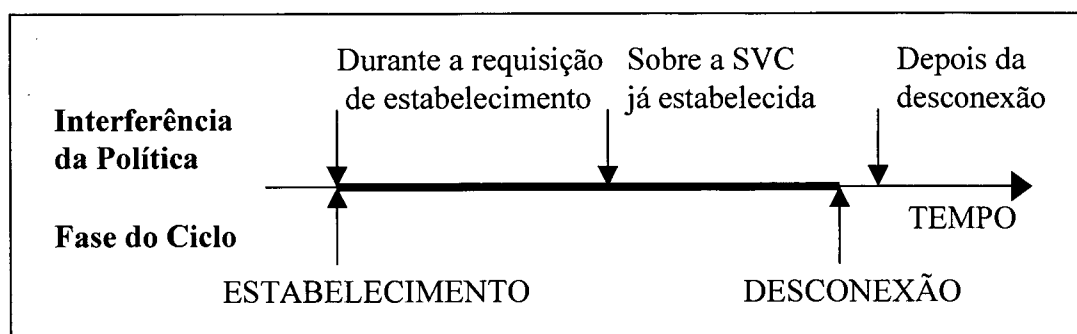


Figura 2.16 – Ciclo de vida de uma SVC

2.9.2 Controle Durante o Estabelecimento

Quando a política de controle é exercida durante a fase de estabelecimento da conexão é necessário verificar a função normal CAC e a política de controle. Como as redes ATM estabelecem conexões SVCs sob-demanda e essa fase tem uma duração muito pequena (frações de segundos), ambas as verificações devem ser efetuadas no mesmo intervalo de tempo e, portanto, de forma automatizada através dos dados de sinalização da rede [ATMForum-C 96].

- **Verificação pela CAC:** a função CAC assegura que a nova conexão somente será efetivada se a rede possuir os recursos necessários para acomodar os requisitos da conexão, sem degradar as conexões já existentes. Os recursos interessantes neste sentido incluem entre outros, a largura de banda e o espaço para as células nos *buffers*. Os padrões para a CAC já estão estabelecidos pela UNI (*User Network Interface*) do ATM Forum e são implementados pelos fabricantes dos comutadores. Os métodos de CAC são essencialmente de controle preventivo, e tornam-se mais importantes à

medida que, verifica-se que em redes de alta velocidade, métodos de controle dinâmico de congestionamento muitas vezes falham em vista dos tempos de reação envolvidos entre o momento da detecção do congestionamento até o momento do efetivo de reação dos usuários frente a ela. Sendo assim, a estratégia atual de controle de congestionamento é mais no sentido de prevenir o congestionamento do que recuperar a rede de transtornos.

- **Verificação pela Política de Controle:** a função da política de controle é dividir os recursos de uma maneira definida para um conjunto de usuários ou sub-redes que estejam competindo pelos recursos. Esta política pode consistir de uma série de regras que definem sob quais circunstâncias (além da simples disponibilidade dos recursos requisitados) a requisição de uma conexão comutada será aceita.

2.9.3 Controle das SVCs Existentes

Os recursos da rede também podem ser controlados através da interferência das conexões já existentes. Embora de maneira mais rudimentar, esta técnica permite ao gerente liberar recursos simplesmente finalizando determinadas conexões. Para fazer isso o gerente, que neste caso pode ser um ser humano ou um software de gerência, deve ser capaz de obter uma visão genérica de todas as SVCs; finalizar uma conexão indesejada e, finalmente, impedir que uma conexão interrompida seja restabelecida imediatamente.

Para este tipo de controle o gerente precisa de um conjunto de ferramentas de software que forneçam as funcionalidades de gerência sobre as conexões existentes. Dentro deste contexto, foi implementado um módulo que permite obter o número de SVCs ativas em cada uma das portas ATM de um comutador, bem como os fluxos de células em cada SVC. De acordo com as informações obtidas, o administrador de rede pode tomar decisões de reconfiguração da rede ou mesmo encerrar determinadas conexões. Uma descrição mais detalhada do módulo de gerência será apresentada na seção 3.

2.9.4 Verificação das SVCs Após o Encerramento

Uma forma adicional para o problema de controle das SVCs é verificar as conexões após o seu encerramento. Utilizando essa forma de controle não se pode impedir que algum usuário obtenha todos os recursos disponíveis, uma vez que a ação é posterior ao encerramento da conexão. Ao invés disso, a verificação posterior permite tornar o usuário consciente de que sua utilização da rede está sendo monitorada. Esta conscientização pode ser feita através da distribuição de cotas, semanais ou mensais. Um sistema de contabilização de utilização por interface ATM é um exemplo típico de gerenciamento realizado após o encerramento da conexão.

3 Gerência de Redes ATM

A gerência de redes ATM pode ser vista como um serviço que emprega uma variedade de ferramentas, aplicações e dispositivos para auxiliar o gerente humano a monitorar e manter os recursos das redes disponíveis. Consequentemente, a gerência de redes em um ambiente ATM deve conduzir a novos requisitos com a finalidade de assegurar a qualidade da rede. Este capítulo apresenta as funções e o modelo de gerência ATM. Também é apresentado uma estrutura genérica que deve ser utilizada como suporte a gerência de QoS em redes ATM.

3.1 Funções de Gerência ATM

As funções de gerenciamento ATM têm a finalidade de aplicar medidas criteriosas para controlar e influenciar na operação da rede eficientemente. As funções podem ser classificadas em: gerência de configuração, falhas, coleta de dados estatísticos, desempenho e gerência de segurança

3.1.1 Gerência de Configuração

A gerência de configuração abrange tanto a rede em si, quanto o fluxo de dados sobre a mesma [Bozzano 98]. Em relação à rede, vários recursos devem ser configurados antes de sua operação, tais como comutadores, roteadores e circuitos físicos. Em relação ao fluxo de dados, PVCs e SVCs também fazem parte da gerência de configuração.

A grande questão é a limitação da padronização de configuração de dispositivos e circuitos. Em consequência, fabricantes agregam extensões aos padrões existentes, visando permitir maiores capacidades de gerenciamento, sendo as tarefas de configuração tratadas

diferentemente por cada um, acarretando na impossibilidade de interoperação. A tarefa de controle operacional dos comutadores ATM inclui:

- adição e remoção de módulos dos comutadores;
- habilitação e desabilitação de módulos, portas e demais componentes dos comutadores;
- detecção e notificação de modificações na configuração dos comutadores, possibilitando a tomada de ações de maneira automatizada.

No caso específico das PVCs, o controle é caracterizado pelas tarefas de adição, remoção e reinício.

3.1.2 Gerência de Falhas

Quando se trata da gerência de redes ATM, falhas devem ser identificadas e isoladas de maneira rápida. A geração de alarmes é considerável, uma vez que as redes ATM operam em taxas elevadas. Assim, uma grande quantidade de informações pode ser perdida em curtos intervalos de tempo, dada a transmissão de dados em alta velocidade.

Desta maneira, é necessário um alto poder de processamento da estação de gerência para a monitoração dos equipamentos e notificação de uma eventual falha em um recurso da rede. Estações de gerência precisam estar aptas a manter armazenado um grande volume de dados, sem, todavia, sobrecarregar operadores de rede, fazendo com que o processo de filtragem e correlação de alarmes passe a ter grande importância. Os principais tópicos a serem abordados são:

- detecção automática de erros de software e hardware, de modificações no estado dos módulos dos comutadores ou ainda de alterações no estado de *links*;
- monitoração de parâmetros críticos, tal como contadores de SVCs, assim como a obtenção de estatísticas em relação a erros em portas através da definição de limiares e taxas de amostragens pelo usuário;

- realização de testes dinâmicos, sob-demanda, de módulos de hardware, interfaces ATM e através da utilização de protocolos OAM, conexões e *links*.

3.1.3 Gerência de Contabilização

Fabricantes ainda não chegaram a um consenso em como caracterizar, monitorar e controlar o tráfego de usuários para o suporte de vários serviços. A principal questão na gerência de contabilização é a quantidade de portas e conexões associadas a cada consumidor.

Em relação à PVCs, a contabilização por usuário não tem muito sentido, visto que usuários pagam por uma conexão a uma determinada velocidade, independente do modo com que esta venha a ser utilizada. Para a contabilização de SVCs em relação a cada usuário, em contrapartida, o sistema de gerenciamento necessita distinguir entre as diversas categorias de serviço, sendo coletadas as seguintes informações para cada chamada completada:

- endereço chamado e endereço do chamador;
- tempo de início e de duração da chamada;
- características da chamada, tais como QoS e taxa de transmissão de células requisitadas;
- total de células enviadas e recebidas.

3.1.4 Gerência de Desempenho

A gerência de desempenho em redes ATM apresenta grandes desafios, à medida que passam a existir duas redes a gerenciar – a rede física e a rede virtual.

A gerência das conexões físicas é direta, onde deve-se garantir a operação dos *links* na taxa mais rápida por eles suportada. Já a gerência de conexões, por sua vez, caracteriza-se por ser mais complexa, visto que as rotas tomadas pelas conexões podem variar de acordo com

as condições da rede, devendo a estação de gerência notificar seu desempenho sem levar em consideração os *links* físicos por elas utilizados.

Outros importantes parâmetros a serem levados em consideração são a existência de múltiplos tipos de tráfego e a necessidade de garantia de QoS, sendo de responsabilidade do sistema de gerenciamento instruir os comutadores para darem prioridade a um determinado tipo de tráfego sobre outro, alterando a rota de conexão com base na monitoração periódica de limiares de performance, onde a correlação de eventos passa a ter, novamente, papel fundamental. Vários tipos de amostragens estatísticas são necessárias para a correta operação e controle de uma rede ATM, tais como:

- número de células transmitidas e recebidas por porta;
- número de células recebidas com erros em uma determinada porta;
- número de células por conexão;
- número por canais de sinalização.

3.1.5 Gerência de Segurança

Embora métodos de segurança em redes ATM estejam sendo desenvolvidos e avaliados, não existem muitas opções para o controle de acesso a redes ATM. Os comutadores ATM não possuem facilidades de controle de acesso à rede, enquanto conexões estabelecidas não apresentam informações relacionadas à fonte, destino ou aplicações envolvidas.

A utilização de *firewalls* garante, certamente, um maior nível de segurança, acarretando, contudo, em riscos de perda de alguns benefícios que a tecnologia ATM proporciona.

3.2 Modelo de Gerência de Redes ATM

O modelo de gerência de redes ATM sugerido pelo ATM Forum, também conhecido como o modelo de cinco interfaces (Figura 3.1), descreve os vários tipos de gerência de redes

necessários para suportar redes privadas, públicas e redes híbridas. Também especifica *gateway* entre sistemas baseados nos protocolos SNMP e CMIP (*Common Management Information Protocol*), e sistemas com protocolo proprietário. Este modelo tem sido utilizado para situar as diversas soluções e especificações apresentadas para redes ATM.

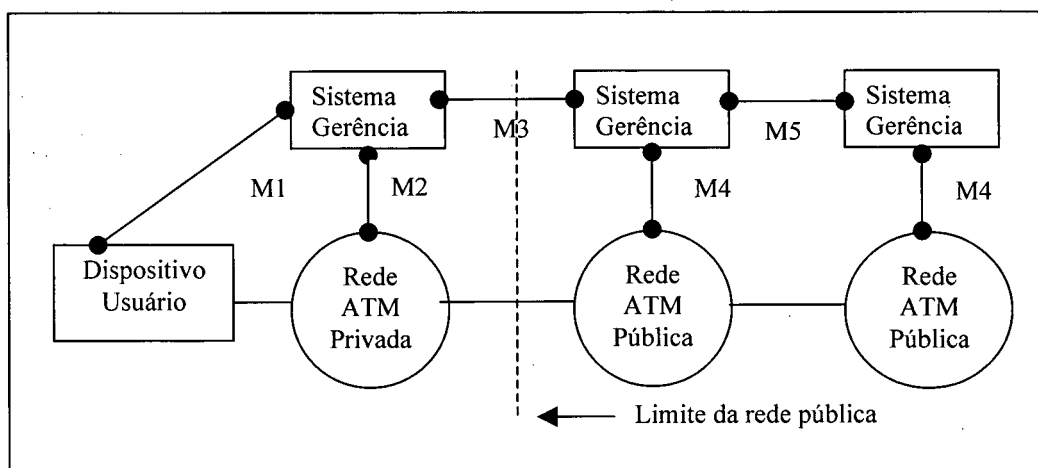


Figura 3.1 – Modelo de gerenciamento de redes ATM

Para este propósito foram criadas cinco interfaces, denominadas M1, M2, M3, M4 e M5. Estas interfaces são essenciais para a monitoração e controle fim a fim de uma rede ATM. As funções de cada uma destas interfaces são descritas abaixo:

- M1 é necessária para realizar a gerência de um dispositivo ATM;
- M2 utilizada no gerenciamento de uma rede ATM privada;
- M3 permite que o usuário supervisione sua porção de uma rede pública ATM;
- M4 é necessária para se gerenciar uma rede pública ATM. Esta interface inclui as funções de gerenciamento de elementos de rede e serviços;
- M5 é utilizada para gerenciar a interação entre dois sistemas de gerência de rede públicas ATM.

Em geral, o protocolo SNMP tem sido utilizado para as interfaces M1, M2 e M3 [ATMForum-D 96], enquanto o CMIP apresenta-se nas soluções das interfaces M4 e M5, que são os ambientes públicos.

3.2.1 Utilização do SNMP em ATM

A padronização de gerência de redes ATM envolve o IETF (*Internet Engineering Task Force*) e o ATM Forum. Ambos têm definidos padrões para gerência de redes ATM, e o protocolo SNMP para o transporte de informações de gerência. Os fabricantes de equipamentos ATM têm definido funcionalidades para os produtos que possuem atualmente no mercado.

O SNMP é um protocolo da camada da aplicação, desenvolvido para facilitar a troca de informações de gerenciamento entre dispositivos e rede. As informações transportadas pelo SNMP permitem aos administradores de rede gerenciar o comportamento da rede remotamente, encontrando e solucionando os problemas e planejando o crescimento da rede. O protocolo SNMP é extremamente simples, e talvez tenha tido influência na sua popularidade. Além da simplicidade, o SNMP oferece a extensibilidade que permite aos fornecedores de equipamentos de redes adicionarem funções de gerência aos seus produtos, e a independência de hardware utilizado. A maioria dos comutadores ATM disponíveis comercialmente, como é o caso do ambiente de estudo, permite um gerenciamento SNMP. Sendo assim, optou-se pela utilização deste protocolo para o levantamento das informações nos comutadores ATM.

O modelo de gerenciamento SNMP baseia-se na comunicação entre agentes e gerentes [Oliveira 98] (Figura 3.2). Os agentes são processos relativamente simples, cujas funções são receber solicitações do gerente, realizar o processamento desejado e enviar as respostas obtidas. O processo agente também pode enviar notificações de um evento qualquer, como o encerramento de uma conexão de um usuário, através da emissão de *traps*.

Para implementação de gerência em redes ATM utilizando o protocolo SNMP é necessário que um recurso da rede seja supervisionado e controlado por uma estação de gerência [Oliveira 98, Townsend 95]. Portanto, qualquer dispositivo ATM deve conter a implementação de um agente. Da mesma forma, a estação de gerência está habilitada para a realização da gerência se possuir a implementação de um agente.

Associados aos recursos gerenciados estão as MIBs (*Managament Information Base*), ou base de informação de gerência. Em outras palavras, a MIB é o repositório conceitual de todos os objetos gerenciados, não importando qual seja o meio para armazenamento físico das informações de gerência. Os objetos gerenciados e suas instâncias são representados por variáveis. Para as variáveis são atribuídas definições que informam exatamente quais serão seus atributos [ATMForum-E 98, Oliveira 98, Townsend 95].

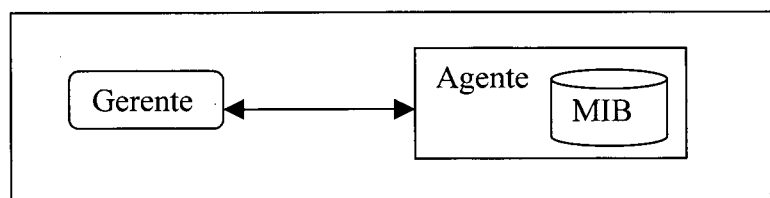


Figura 3.2 – Modelo de gerência SNMP

Os sistemas agente e gerente se comunicam através de trocas de mensagens SNMP [Miller 97, Stallings 96] (

Figura 3.3). Essas mensagens são compostas por um cabeçalho padrão e uma PDU (*Protocol Data Unit*) específica. O cabeçalho inclui a versão do protocolo SNMP e o nome da comunidade. O primeiro campo garante que agentes e gerentes estejam trocando mensagens compatíveis. O segundo campo funciona como uma senha de acesso às informações solicitadas. As mensagens só poderão ser lidas ou escritas baseadas no nome da comunidade. Quando um agente recebe uma solicitação do gerente, imediatamente será feita a verificação da comunidade. Se a comunidade for igual à definida pelo agente, o gerente terá acesso, caso contrário uma mensagem será retornada para o agente indicando falha na autenticação.

O protocolo é caracterizado por sua simplicidade e opera basicamente com cinco PDUs.

Versão	Comunidade	PDU
--------	------------	-----

Figura 3.3 – Mensagem SNMP

- *GetRequest*: utilizado para requisitar o valor de um atributo de um objeto;
- *GetNextRequest*: esta primitiva habilita o gerente a recuperar os valores dos objetos gerenciados sequencialmente;
- *SetRequest*: esta primitiva habilita o gerente a atualizar o conteúdo dos objetos gerenciados;
- *GetReponse*: retorna o resultado das PDUs *get*, *getnext* e *setrequest*;
- *Trap*: é uma notificação assíncrona emitida pelo agente ao gerente sobre algum evento ocorrido no objeto gerenciado.

A comunicação entre agente e gerente é realizada de maneira confirmada, na qual o gerente toma iniciativa através do envio das seguintes PDUs: *GetRequest*, *GetNextrequest* ou *Set* [Miller 97, Oliveira 98, Stallings 96]. Após o recebimento de uma dessas mensagens, o agente responde com a PDU *Response*. Esta PDU transporta a informação requisitada ou indica uma possível falha de comunicação.

O agente também pode ser o iniciador da comunicação. Isso ocorre quando o agente detecta algum evento extraordinário, como a reinicialização do dispositivo ou a mudança de estado de uma das suas interfaces. Diante de tais eventos o agente envia uma PDU *Trap* ao gerente, este por sua vez não necessita confirmar o recebimento. Não cabe ao SNMP definir o que será feito após o recebimento de uma *trap*. Este tratamento será dado pela aplicação de gerência.

3.2.2 MIBs para Gerência de Redes ATM

O ATM Forum e o IETF têm definidos várias MIBs para a gerência de redes ATM utilizando o protocolo SNMP, no entanto, serão descritas somente aquelas utilizadas neste trabalho. A ATOM que é especificada pelo grupo de trabalho ATOM MIB, encarregado pelas questões de gerenciamento dentro do IETF, foi utilizada para obter informações sobre SVCs. A MIB proprietária IBM 8265 é necessária para obter informações sobre o número de células transmitidas, recebidas e descartadas de cada conexão. Finalmente, usou-se a MIB II no controle das interfaces dos equipamentos ATM.

Para o controle das interfaces nos comutadores ATM, utilizou-se o grupo de interfaces da MIB II que define variáveis para o controle de interfaces (Tabela 3.1). Através destas variáveis é possível determinar a quantidade, o tipo e o estado de cada uma das interfaces de um comutador ATM e, desta forma, selecionar apenas as interfaces ATM, e em cada uma delas obter o número de conexões e os fluxos de células.

MIB	OIDs	Nome
MIB-II	.1.3.6.1.2.1.2.1	IfNumber
MIB-II	.1.3.6.1.2.1.2.2.1.1	IfIndex
MIB-II	.1.3.6.1.2.1.2.2.1.3	IfType
MIB-II	.1.3.6.1.2.1.2.2.1.7	IfAdminStatus

Tabela 3.1 – MIB, variáveis e OIDs para controle de interfaces

A maioria das variáveis SNMP utilizadas no controle das conexões virtuais mantém informações sobre conexões cruzadas, que descrevem como os enlaces virtuais são conectados uns aos outros (Tabela 3.2). Dentre os aspectos relacionados ao controle dos canais virtuais que devem ser considerados neste trabalho, está a direção do fluxo da conexão, ou seja, se uma conexão está chegando ou partindo de uma porta, e se uma conexão cruzada faz parte ou não de uma conexão ponto a ponto ou ponto a multiponto.

Desta maneira, quando uma conexão chega na porta de um equipamento ATM, ela é identificada com os valores dos identificadores (VPI/VCI) de entrada, que são determinados pelas variáveis *vcXInVPI*, *vcXInVCI* e *vcXInIndex*. Na saída, o mesmo processo deve ser efetuado, e são representados pelas variáveis *vcXOutVPI* e *vcOutVPI* e *vcXOutIndex*.

Para determinar se uma conexão cruzada faz parte de uma conexão ponto a ponto ou ponto a multiponto é utilizado a variável *vcXtype*, que retorna um valor igual a 1 para informar que a conexão cruzada faz parte de uma conexão ponto a ponto e, o valor 2 determina que a conexão faz parte de uma conexão ponto a multiponto.

A direção do fluxo da conexão é fornecida pelo valor da *string* retornada pela variável *vcXDirection*. Quando o valor do retorno é igual *Downstream*, significa que a conexão origina-se na interface que possui os parâmetros de entrada (interface, VPI/VCI), para a interface com os parâmetros de saída (interface, VPI/VCI). Em particular, para uma SVC ponto a multiponto, isto significa que o chamador (a raiz neste caso) é a interface indicada pela variável *vcXInIndex*. Quando o valor do retorno for *Upstream*, significa que a conexão originou-se na interface que possui os parâmetros de saída (interface, VPI/VCI). Desta maneira, essa variável indica se uma conexão está chegando ou partindo de uma interface ATM.

O máximo de ramos configurados para uso pelas conexões virtuais ponto a multiponto é descrito pela variável *operMaxParties*, e a quantidade máxima de árvores ponto a multiponto é descrita pela variável *operMaxTrees*. O número de ramos configurados para as conexões ponto a ponto é a diferença entre os valores desta duas variáveis. O número de ramos é obtido através da variável *operMaxBranches*. Cada um dos comutadores ATM envolvidos neste trabalho estão, atualmente, configurados com 21.000 ramos, sendo 7.000 destes para serem utilizados pelas conexões virtuais ponto a multiponto e 14.000 para as conexões virtuais ponto a ponto. O número de árvores configurados para uso pelas conexões virtuais ponto a multiponto é da ordem de 1.000.

Finalmente, *atmInterfaceMaxVccs* determina a quantidade de SVCs suportadas por uma interface ATM, no ambiente de estudo o número de SVCs configuradas por interface é da ordem de 1.024. A variável *atmInterfaceConfVccs* determina o número de SVCs atualmente ativas nas porta de um comutador ATM.

MIB	OIDs	Nome
8265	.1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.4.1.1.1	VcXInIndex.
8265	.1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.4.1.1.2	VcXInVpi
8265	.1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.4.1.1.3	VcXInVci
8265	.1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.4.1.1.4	VcXOutIndex
8265	.1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.4.1.1.5	VcXOutVpi
8265	.1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.4.1.1.6	VcXOutVci
8265	.1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.4.1.1.7	VcXType
8265	.1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.4.1.1.8	VcXDirection
8265	.1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.8.2.2.1	OperMaxBranches
8265	.1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.8.2.2.2	OperMaxParties
8265	.1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.8.2.2.3	OperMaxTrees
8265	.1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.8.2.3.1	ActualBranches
8265	.1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.8.2.3.2	ActualParties
8265	.1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.8.2.3.3	ActualTrees
1695	.1.3.6.1.2.1.37.1.2.1.2	AtmInterfaceMaxVccs
1695	.1.3.6.1.2.1.37.1.2.1.4	AtmInterfaceConfVccs

Tabela 3.2 – MIBs, variáveis e OIDs para controle de conexões

No controle dos fluxos de células nas conexões ATM foram definidas e utilizadas variáveis SNMP que informam os fluxos de células de entrada e saída nas conexões (Tabela 3.3). Além disso, essas variáveis determinam o número de células de entrada e saída que seriam transmitidas pela conexão, mas que foram descartadas durante o período de monitoramento.

MIB	OID	Nome
8265	.1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.8.4.3.1.4	CxVcInCells
8265	.1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.8.4.3.1.5	CxVclInDiscards
8265	.1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.8.4.3.1.6	CxVclOutCells:
8265	.1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.8.4.3.1.7	CxVclOutDiscards

Tabela 3.3 – Variáveis e OIDs para controle de células

Para a gerência e controle de sinalização foram utilizados variáveis SNMP que contêm informações sobre o protocolo Q2931 para cada *link* de sinalização definido por interface (Tabela 3.4). Normalmente existe apenas um canal por interface e assim uma entrada para o protocolo Q2931 por interface [ATMForum-B 99, ATMForum-C 96]. Portanto, através das variáveis de sinalização é possível determinar o número atual de chamadas de saída tentadas sob uma interface, incluindo as chamadas aceitas, bem como as rejeitadas; o número atual de chamadas de saída em progresso na interface de sinalização; e o número atual de chamadas de saída que foram limpadas por uma razão diferente de um equipamento da rede ou uma ação iniciada pelo administrador de redes. Além das informações de sinalizações de saída também foram utilizados objetos que determinam o número de chamadas de chegadas tentadas na interface de sinalização, incluindo as chamadas aceitas, bem como as rejeitadas; o número atual de chamadas de chegada em progresso na interface de sinalização; e o número de chamadas que foram rejeitadas pelo receptor. As variáveis para controle de sinalização podem estar descritas na **Tabela 3.4**.

MIB	OID	Nome
8265	1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.9.1.2.1.1	AtmQ2931StatsIndex
8265	1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.9.1.2.1.2	AtmQ2931StatsVpi
8265	1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.9.1.2.1.3	AtmQ2931StatsVpi
8265	1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.9.1.2.1.4	AtmQ2931OutCallAttempts
8265	1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.9.1.2.1.5	AtmQ2931OutCallInProgress
8265	1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.9.1.2.1.6	AtmQ2931OutCallFailures
8265	1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.9.1.2.1.7	AtmQ2931InCallAttempts
8265	1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.9.1.2.1.8	AtmQ2931InCallInProgress
8265	1.3.6.1.4.1.2.6.33.1.9.1.2.1.9	AtmQ2931InCallFailures

Tabela 3.4 – MIB, variáveis e OIDs para controle de sinalizações

3.3 Estrutura para Gerência de QoS em Redes ATM

Uma das características mais importantes de redes ATM é sua habilidade em prover QoS. No entanto, a maioria das soluções existentes para gerência de redes ATM são inadequadas

para este fim. Portanto, nesta seção será apresentado uma estrutura genérica que pode ser utilizada como auxílio à gerência de QoS em redes ATM [Aurrecoechea 98, Campbell 94].

3.3.1 Princípios da QoS

Existem alguns princípios básicos que podem ser utilizados como fundamentos à gerência de redes ATM:

1. **Princípio da integração:** a QoS deve ser configurada, prevista e mantida sobre todas as camadas de uma arquitetura [Almesberger 97, Lu 96, Ott 97]. Os fluxos¹ transmitidos pelo emissor até o receptor interagem com diversos recursos (CPU, memória, dispositivos), e estes devem oferecer uma forma de configurar QoS (baseado na especificação de QoS), e a garantia de recursos (disponibilizado pelo mecanismo de controle de QoS).
2. **Princípio de separação:** afirma que transferência de mídia, controle e gerência são funções distintas e devem estar separadas na estrutura de QoS da arquitetura. Um aspecto dessa separação é a diferença entre sinalização e transferência de fluxos de mídia que geralmente requer uma ampla variedade de alta largura de banda, baixa latência, serviços não assegurados com alguma forma de correção na variação de atraso [ATMForum-A 99, ATMForum-B 99, ATMForum-C 96]. Em outras palavras, sinalização geralmente requer baixa largura de banda e serviços com garantia assegurada.
3. **Princípio de transparência:** tem como objetivo esconder a complexidade da especificação e gerência da QoS para as aplicações/usuários. Sendo assim, a utilização

¹Fluxo caracteriza a produção, transmissão e eventual consumo de uma simples mídia (áudio, vídeo ou dados) como atividade controlada pela declaração de QoS fim a fim. Os fluxos são simples por natureza e podem ser ambos unicast e multicast. Os fluxos geralmente requerem controle de admissão fim a fim e reserva de recursos, e suportam a demanda de QoS heterogêneas.

desse princípio reduz a necessidade de embutir funcionalidades em aplicações, oculta os detalhes da especificação de serviço subalterno da aplicação e controla a complexidade de manutenção das atividades de gerência de QoS para a aplicação e o usuário.

4. **Princípio de intervalos múltiplos:** na modelagem dos mecanismos de controle e de gerência, deve ser considerado que há diferentes restrições temporais coexistindo entre as atividades (por exemplo, no escalonamento, no roteamento, no controle de fluxo, na gerência da QoS, etc.) em um ambiente de comunicação distribuído. O tempo desse ambiente é estruturado de acordo com essas diferentes escalas de tempo.
5. **Princípio de desempenho:** assume um número de regras bem definidas para a implementação de sistemas de comunicação, exigindo técnicas como: divisão de funcionalidades em protocolos de comunicação estruturados de alto desempenho, uso de hardware específico para auxiliar o processamento desses protocolos, etc.

3.3.2 Especificação da QoS

A especificação de QoS se preocupa com as exigências da aplicação e da política de gerência. Geralmente a especificação de QoS é diferente em cada uma das camadas do sistema, e é usada para configurar e manter mecanismos de QoS residentes em sistemas finais e rede. Nessa especificação, as aplicações determinam os seus requisitos; como isso será alcançado é de responsabilidade dos mecanismos de baixo nível, ou seja, as aplicações definem o que é necessário, e não a forma que será obtido. Os aspectos de QoS a serem especificados são divididos de acordo com sua natureza:

1. **Especificação de sincronização de fluxo:** caracteriza o grau de sincronização relacionado a múltiplos fluxos. Por exemplo, vídeo registrado simultaneamente deve ser mostrado em sincronia precisa de quadro a quadro, de forma que características pertinentes possam ser observadas simultaneamente. Em outras palavras, a sincronização de voz em fluxos multimídia não necessita ser absolutamente precisa

quando o canal de comunicação principal é audível, e o vídeo é usado apenas para aumentar a sensação de presença.

2. **Especificação de desempenho do fluxo:** permite ao usuário expressar as medidas de desempenho de fluxo, de forma quantitativa, através de parâmetros. A habilidade para garantir a taxa de pico, atrasos, variação de atraso, taxa de perdas é particularmente importante para aplicações com restrições de tempo.
3. **Nível de serviço:** especifica o grau de comprometimento de um recurso, em garantido, previsível e melhor esforço. Assim, o usuário pode expressar as medidas de desempenho de uma maneira qualitativa, que permite uma distinção entre garantia de performance suave e rígida. O nível de serviço expressa o grau de certeza que o nível de QoS requisitado no momento de um estabelecimento de fluxo ou renegociação seja mantido.
4. **Política de gerência de QoS:** captura o grau de adaptação de QoS que um fluxo pode tolerar e o conjunto de ações de aumento/redução que devem ser tomadas no caso de violação na QoS contratada. Por exemplo, no caso de escassez ou ausência de um recurso, a aplicação deve estar pronta a negociar e aceitar uma QoS mais baixa ao invés de ter o serviço negado.
5. **Custo do serviço:** especifica o preço que o usuário está disposto a pagar por um determinado serviço. Se não existe noção de custo de serviço envolvida na especificação de QoS, não há nenhuma razão para o usuário selecionar um limite diferente de nível máximo de serviço.

3.3.3 Mecanismos de QoS

Os mecanismos de qualidade de serviço são selecionados de acordo com a especificação fornecida pelo usuário, disponibilidade de recursos e política de gerência de recursos. Em

gerência de recursos, os mecanismos de QoS são definidos como estático ou dinâmico: gerência de recursos estáticos preocupa-se com a fase de estabelecimento e renegociação fim a fim, e a gerência de recursos dinâmicos está relacionados com a fase de transferência da mídia.

Mecanismos para Obtenção de QoS

1. **Mapeamento de QoS:** realiza a função da tradução automática entre representações de QoS em diferentes camadas de sistemas (aplicação, sistema e rede) e assim libera o usuário da necessidade dos detalhes de especificação das camadas inferiores.
2. **Teste de admissão:** é responsável em comparar os recursos necessários (que surge do pedido de QoS) com os recursos disponíveis no sistema. Geralmente, a decisão se um novo pedido pode ser aceito depende da política de gerência e da disponibilidade do recurso. Se o contrato for obtido com sucesso, os recursos são imediatamente reservados e então alocados.
3. **Protocolos de reservas de recursos:** são utilizados para alocação (reserva) de recursos em sistemas finais e de redes de acordo com a especificação de QoS do usuário.

3.3.4 Mecanismos de Controle de QoS

Os mecanismos de controle de QoS funcionam em tempos reduzidos na transferência de mídias com rapidez. Esses mecanismos oferecem controle de tráfego em tempo real de fluxos baseados em um nível requisitado de QoS estabelecido durante a fase de negociação.

1. **Fluxo determinado:** controla fluxos baseados em especificação de desempenho fornecido pelo usuário, e pode ser baseado numa taxa de pico ou alguma forma de representação estatística, a requerida largura de banda.

2. **Escalonamento de fluxo:** controla o avanço de fluxo em um sistema final e rede (pacotes e/ou células) de uma maneira integrada. Geralmente os fluxos são escalonados independentemente nos sistemas finais, mas podem ser juntados e escalonados facilmente na rede.
3. **Policimento de fluxo:** pode ser visto como uma *dual* da monitoração - a monitoração observa se a QoS contratada por um fornecedor está sendo mantida, uma vez que o policiamento verifica se a QoS contratada pelo usuário está sendo aderida.
4. **Controle de fluxo:** inclui dois esquemas - controle de *loop* aberto, usado amplamente em telefonia, permite a origem injetar dados na rede de acordo com o contratado, uma vez que o recurso tenha sido alocado com antecedência; controle de *loop* fechado, necessário que a origem ajuste seus parâmetros baseada na resposta enviada pelo destino ou rede. Aplicações usando controle de *loop* fechado baseadas em protocolos devem ser capazes de adaptar-se a variações nos recursos disponíveis. Em outras palavras, as aplicações que não podem adaptar-se às mudanças de acordo com a QoS distribuída, são mais apropriadas a esquemas de *loop* aberto, onde a largura de banda, atrasos e perdas podem ser determinadamente garantidas durante a duração da sessão.
5. **Sincronização de fluxo:** é requerida para controlar a ordenação de eventos e a temporização precisa de interações multimídia. A sincronização de áudio e vídeo é uma das formas mais citadas de sincronização multimídia. Outros cenários de sincronização incluem: sincronização de evento sem e com interação do usuário, algumas formas de sincronização de voz contínua, e sincronização para origens diferentes.

3.3.5 Mecanismos de Gerência de QoS

A gerência da QoS é muitas vezes necessária para assegurar que a QoS contratada seja mantida, uma vez que o simples comprometimento dos recursos não garante que isso ocorra [Campbell 94, Lakshman 97]. Os mecanismos de gerência fundamentais incluem:

Monitoração da QoS: permite a cada camada do sistema verificar o nível contínuo de QoS obtido pela camada inferior. Através da monitoração é possível fornecer garantias de serviços, por exemplo, cálculo mais preciso sobre o custo do serviço. Em geral, a monitoração funciona de duas formas: um modo de questionamento, onde é requisitado um relatório sobre a utilização dos recursos; e um modo relatório, que regularmente informa a QoS e o comportamento dos recursos.

1. **Manutenção da QoS:** compara a QoS monitorada com o desempenho esperado e então realiza as devidas operações sobre os módulos dos recursos para manter a distribuição de QoS.
2. **Degradação da QoS:** é utilizada com a finalidade de reduzir a QoS quando os mecanismos de manutenção não conseguem manter a QoS contratada. A degradação é realizada através da renegociação.
3. **Disponibilidade de QoS:** permite a aplicação especificar o intervalo em que um ou mais parâmetros (por exemplo, atraso, variação de atraso, largura de banda, perda, sincronização) podem ser monitorados, e a aplicação informada do desempenho através de um sinal de QoS [Hong 97]. Este sinal é conhecido como sinalização, e pode ser selecionado de acordo com a política de gerência de QoS requisitado pelo usuário.
4. **Escalabilidade de QoS:** compreende os mecanismos de filtragem da QoS (que manipula os fluxos transmitidos nos sistemas de comunicação) e de adaptação da QoS (que ordena fluxo apenas em sistemas finais). Muitas aplicações de mídias contínuas exibem robustez adaptando as variações em QoS fim a fim. Baseado na política de gerência adotada pelo usuário, a adaptação da QoS em sistemas finais pode tomar ações de reforço para organizar o fluxo apropriadamente [Vogel 95, Nahrstedt 97]. No caso de fluxos multiponto, nos quais os receptores podem ter diferentes capacidades de consumo, a filtragem da QoS funciona como uma ponte sobre essa fenda de heterogeneidade adequando, a QoS do fluxo às exigências de QoS dos receptores.

4 Controle de Conexões, Sinalizações e Fluxos de Células

Neste capítulo será apresentada a estrutura simplificada do módulo de gerência implementado neste trabalho. Também, é descrito um estudo de caso que foi estabelecido para validar o módulo de gerência.

4.1 Estrutura do Módulo de Gerência

Atualmente o módulo de gerência apresentado neste trabalho é composto por três elementos e estão ilustrados na Figura 4.1: os objetos de coleta, representado pela Interface de Gerência, obtêm as informações da rede; a base de dados armazena as informações obtidas e finalmente os relatórios, que apresentam os resultados obtidos neste trabalho.

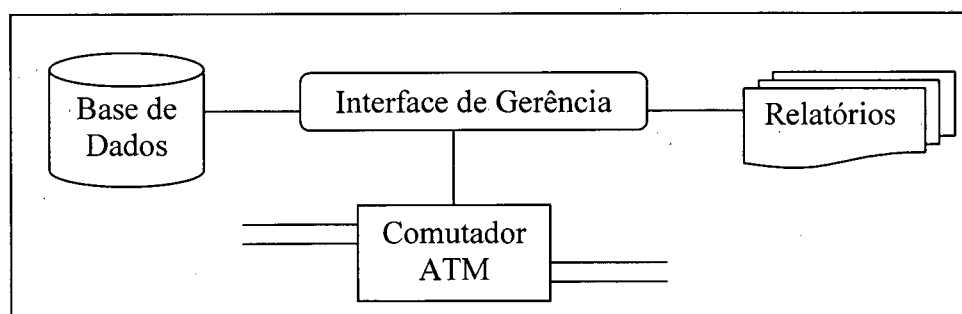


Figura 4.1 – Visão geral do módulo de controle

Os objetos de coleta permitem ao usuário adquirir informações sobre o número de conexões ativas nas portas dos comutadores ATM, classificando-as como ponto a ponto ou ponto a multiponto. Também é possível obter os fluxos de células em cada uma das conexões ativas nos comutadores.

Os objetos de manutenção da base de dados são responsáveis por inserir e recuperar informações na base de dados. O período que os dados são atualizados é estabelecido de

acordo com o *polling* determinado quando uma coleta de dados é solicitada. A estrutura da base de dados utilizada pelo módulo de gerência é composta de duas tabelas: a primeira armazena as informações referentes ao controle das conexões e as informações sobre as conexões ponto a ponto ou ponto a multiponto ativas nos comutadores; e a segunda é utilizada para armazenar as informações dos fluxos de células gerados nas conexões ATM.

Neste trabalho os resultados são descritos em relatórios e podem ser adquiridos através de consultas às bases de dados realizadas através da Interface de Gerência. Adicionalmente, os resultados podem ser expressos em arquivos-textos para serem avaliados ou visualizados posteriormente.

O módulo de gerência está implementado através da linguagem de programação Java, aproveitando as facilidades contidas no *Advent Builder 3.0*, que é destinado para desenvolvimento de aplicações de gerência [<http://www.adventnet.com>]. O motivo da utilização do *AdventNet* foi devido ao fato de serem acessíveis publicamente e possuírem operação e utilização difundida através de listas de discussão. Além disso, inclui o Kit de Desenvolvimento Java (JDK 1.2) para permitir a compilação dos programas e o pleno funcionamento das classes de comunicação do protocolo SNMP.

Para armazenar os dados adquiridos da rede é utilizado o Banco de Dados relacional da Microsoft SQLserver 6.5. Este Banco de Dados foi usado devido ao fato de estar disponível no NPD/UFSC, e por já estar sendo utilizado pela ferramenta ATRM Tool. Para permitir a manipulação com o banco de dados (estabelecer uma conexão, realizar consultas SQL, etc.), utilizou-se a classe *java.sql* do JDK 1.2 através de *Open-Client DB-Library*, que é um conjunto de bibliotecas que acessam às APIs (*Application Programming Interface*) dos bancos de dados, comumente chamado de *drivers*. A versão experimental do *driver* utilizado (SQL JDBC Driver Version 1.18) é fornecida pela I-net Software e está disponível em <http://www.inetsoftware.de>.

4.1.1 Obtenção das Conexões, Sinalizações e dos Fluxos de Células

A classe utilizada para obter informações da rede permite uma coleta dinâmica das variáveis SNMP, sem que o gerente se preocupe em ajustar quantas portas estão em operação em cada comutador, e quais delas correspondem às interfaces ATM. O gerente preocupa-se somente em informar o número IP e a comunidade do comutador que será gerenciado. A partir destas informações, a classe implementada percorre as MIBs dos agentes do equipamento indicado e obtém as variáveis SNMP que informam sobre o número de interfaces, quais estão ativas e se correspondem ou não a uma interface ATM. De posse dessas informações, a classe implementada pode dimensionar as matrizes necessárias ao armazenamento de cada variável SNMP utilizada para a obtenção do número de SVCs, os fluxos de células em cada uma delas e a classificação das SVCs em ponto a ponto ou ponto a multiponto. O diagrama ilustrado na Figura 4.2 resume os procedimentos adotados no módulo de controle para levantamento das informações em comutadores ATM.

Para melhor entendimento do funcionamento do módulo de gerência serão descritos, resumidamente, os procedimentos utilizados para obter o número de conexões, sinalizações e os fluxos de células recebidas pelas conexões ativas nas portas de um comutador ATM. Inicialmente, o módulo de controle obtém a quantidade de interfaces (portas) que um equipamento possui, através da variável *ifNumber* definida na MIB-II. Através do número de interfaces, é possível percorrê-las e selecionar somente as interfaces ATM e que estejam operacionais, fornecidas pelas variáveis *ifIndex*, *ifType* e *ifOperStatus* também definidas na MIB-II. De posse do número e índices das interfaces ATM operacionais, é possível percorrê-las e somar o número máximo de SVCs atualmente estabelecidas em cada uma das interfaces do comutador ATM, a partir da variável *atmInterfaceConfVccs*, definida na AToM MIB. Sabendo o número de portas ATM e a quantidade de conexões ativas em cada uma delas, é possível percorrer todas as portas, e em cada uma obter os fluxos de células recebidas em cada conexão. Isto é possível através da variável *cxVcInCells* que é definida na MIB proprietária IBM 8265.

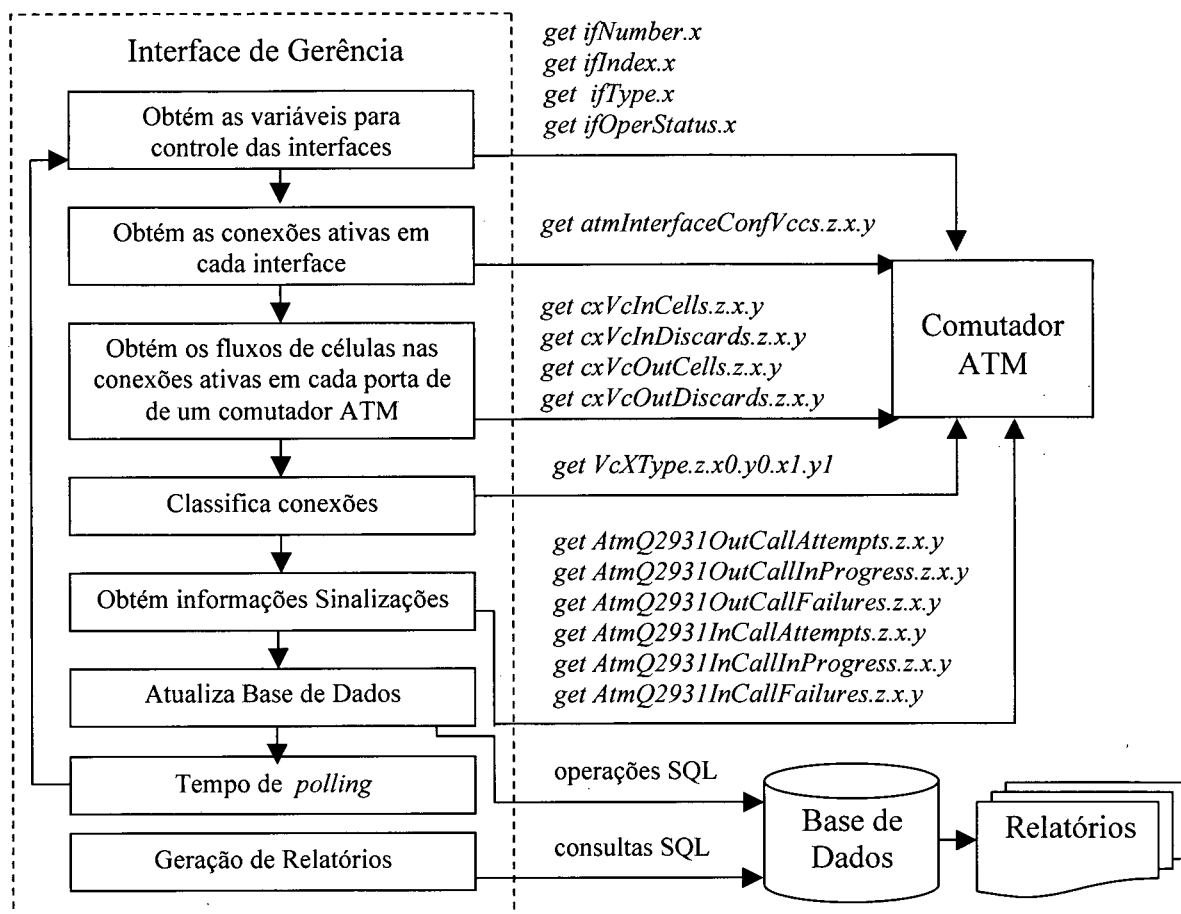


Figura 4.2 – Estrutura simplificada do módulo de gerência

Pode ser observado que os procedimentos descritos anteriormente permitem manter um controle sobre as interfaces, obter o número de conexões ativas em cada uma das portas e os fluxos de células recebidas em cada conexão. Sendo assim, estes procedimentos são utilizados para obter os fluxos de células transmitidas por uma conexão, bem como os fluxos de células de entrada e saída que seriam transmitidas pela conexão, mas que foram descartadas durante o período de monitoramento; as variáveis *cxVcInCells*, *cxVcInDiscards*, *cxVcOutDiscards* são utilizadas para este propósito. Além disso, a variável *VcXType* e suas instâncias são utilizadas para determinar se uma conexão cruzada faz parte de uma conexão ponto a ponto ou ponto a multiponto.

As informações de sinalizações que chegam e partem dos comutadores são obtidas através de operações SNMP direta às variáveis da MIB proprietária IBM 8265 descritas na Figura

4.2. É importante destacar que o controle destas informações é baseado na interface de sinalização dos comutadores ATM.

Finalmente, as informações sobre as conexões, as sinalizações e os fluxos de células, levantadas no comutador são transferidas das matrizes de armazenamento auxiliar para as bases de dados através de operações SQL. O gerente da rede pode obter os relatórios através de consultas SQLs disponíveis na Interface de Gerência.

O módulo de gerência também permite obter informações sobre os fluxos de células geradas por aplicações específicas. É possível, por exemplo, monitorar uma SVC estabelecida por uma aplicação multimídia, pois, cada SVC é identificada, unicamente através de um VPI/VCI, portanto, a partir desta informações e do momento que a SVC foi estabelecida, é possível obter os fluxos de células geradas pela aplicação.

4.2 Descrição do Ambiente de Gerência

O ambiente de estudo para o desenvolvimento desse trabalho é o backbone da rede de computadores da Universidade Federal de Santa Catarina - redeUFSC. O backbone ATM é composto, atualmente, de 5 comutadores ATM centrais e diversos comutadores de borda, como é mostrado na Figura 4.3.

Os comutadores centrais que são objetos desse estudo fazem parte da nova geração da tecnologia de comutação ATM para backbone de altas velocidades e são denominados de CPSW (*Control Point Switch*). A conexão física entre os comutadores é realizada por fibras ópticas com velocidades de 155 Mbps e 622 Mbps, e as interfaces lógicas pelos protocolos IISIP e PNNI.

4.3 Controle Baseado em uma Rede em Atividade

A finalidade desta seção é apresentar algumas constatações preliminares que foram observadas na validação do módulo de gerência implementado. Sendo assim, foram definidos e realizados uma série de experimentos baseados nas condições atuais de alguns comutadores ATM do backbone da redeUFSC. Por questões de simplicidade são apresentados apenas alguns experimentos, no entanto, estes servem como base para ilustrar o comportamento dos comutadores ATM que fazem parte do ambiente de gerência estudado.

4.3.1 Comportamento dos Fluxos de Células em SVCs

As Figura 4.4 e Figura 4.5 representam a largura de banda de entrada e saída utilizadas pelas conexões que utilizam serviços UBR ativas em uma porta de 622 Mbps do comutador CPSW_NPD. Pela análise descritiva, pode ser observado que a largura de banda utilizada pelas conexões é variada, uma vez que o serviço UBR não realiza a reserva de largura de banda, ou seja, as aplicações acessam a largura de banda disponível de acordo com o que a rede pode oferecer.

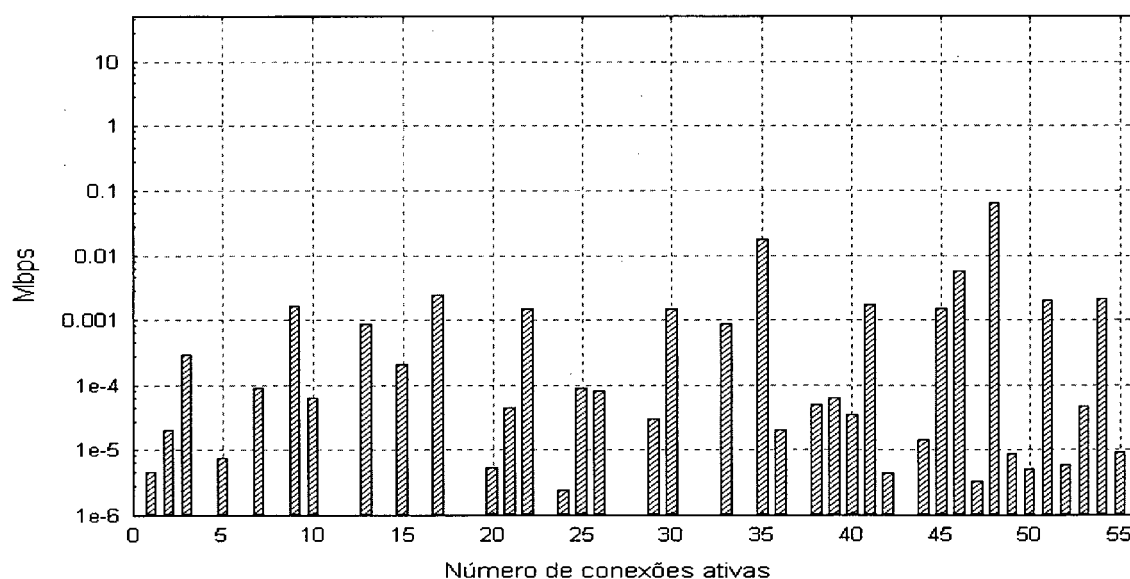


Figura 6 – Largura de banda de entrada nas conexões ativas no CPSW_NPD – Porta 201

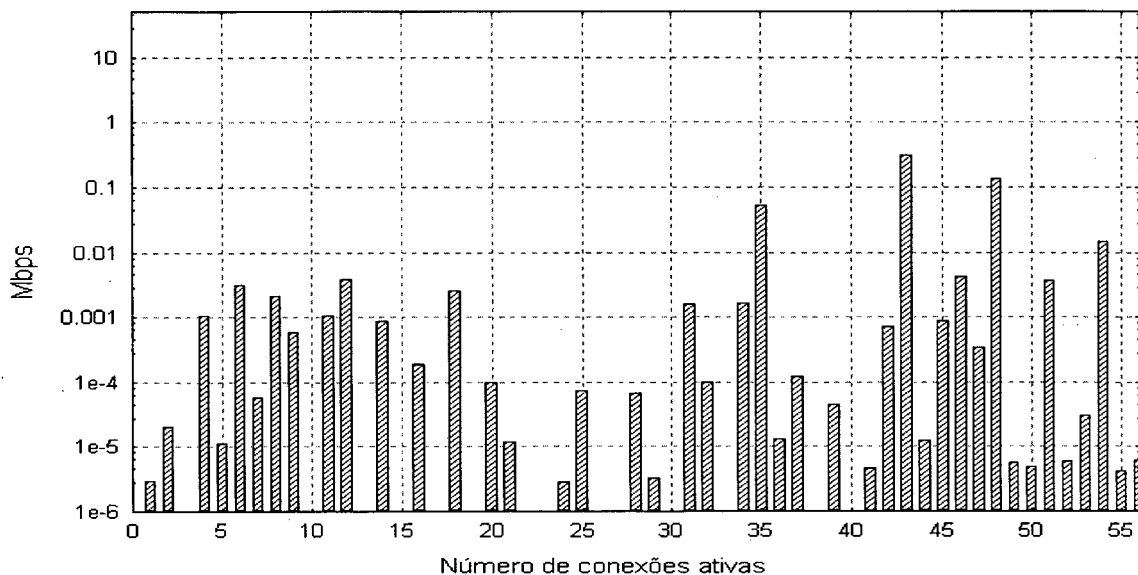


Figura 4.4 – Largura de banda de saída nas conexões ativas no CPSW_NPD: porta 201

Pode-se perceber que as larguras de banda de entrada e saída utilizadas pelas conexões são bem menores do que a capacidade nominal das interfaces dos comutadores ATM. Isso justifica o fato de não ter sido percebido descartes de células durante as medições realizadas.

4.3.2 Comportamento das SVCs: ponto a ponto ou ponto a multiponto

Uma das vantagens implementadas no módulo de controle é a obtenção de uma visão geral de todas as conexões ativas em comutadores ATM, classificadas em ponto a ponto ou ponto a multiponto. Na Figura 4.5 é apresentado o comportamento das conexões ativas nas portas do comutador CPSW_NPD. Pode ser observado que a porta 701 detém um número elevado de conexões, entretanto, isso é justificado uma vez que a porta está conectada ao servidor de LANE, conforme mostrado na Figura 5. Desta forma, as SVCs de controle estabelecidas pelas entidades da arquitetura LANE com servidor entram e retornam pela mesma porta 701, gerando dois ramos para cada SVC.

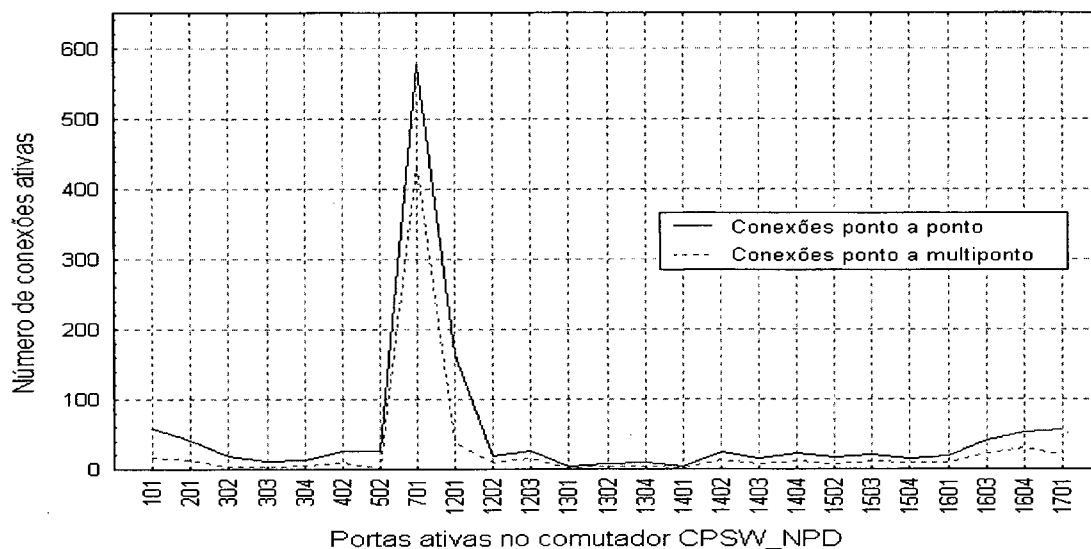


Figura 4.5 – Comportamento das conexões ativas no comutador CPSW_NPD: ponto a ponto ou ponto a multiponto

Uma rede ATM pode ficar congestionada devido ao número de conexões ativas em uma determinada porta, independente dos fluxos de células geradas nas conexões. Para o caso específico da redeUFSC, o valor aproximado de 1.010 na porta 701 (Figura 4.5), representa a soma das SVCs com seus respectivos ramos. O número de SVCs ponto a ponto e ponto a multiponto representa um valor aproximado de 860, sendo que o número de SVCs suportadas pela porta é de 1.024.

Em suma, os comportamentos observados nas Figura 4.4 e Figura 4.5 mostram claramente a importância de manter uma gerência sobre conexões ATM, pois, mesmo possuindo largura de banda suficiente nas portas ATM, o número de conexões geradas na porta conectada ao servidor LANE (MSS-NPD) é relevante em relação ao valor máximo de 1.024 conexões. O percentual destas conexões corresponde a um valor aproximado de 83% da capacidade suportada, portanto, medidas no sentido de distribuição dos recursos da rede devem ser consideradas.

4.3.3 Comportamento de Sinalização ATM

Analisou-se também o comportamento da sinalização ATM, que é realizado pelo protocolo Q2931[Kyas 95, ATMForum-B 99, ATMForum-C 96]. As Figura 4.6 e Figura 4.7 representam, respectivamente, o comportamento dos pedidos de sinalizações que chegam e que partem do comutador CPSW_NPD. Verifica-se que os pedidos de sinalizações e o número de sinalizações que falham são bem superiores aos pedidos de sinalizações em progresso. Como as sinalizações são utilizadas para o estabelecimento, supervisão e rompimento das conexões, podemos então verificar, pela análise descritiva, que é gerado um número elevado de sinalizações para o estabelecimento de uma SVC.

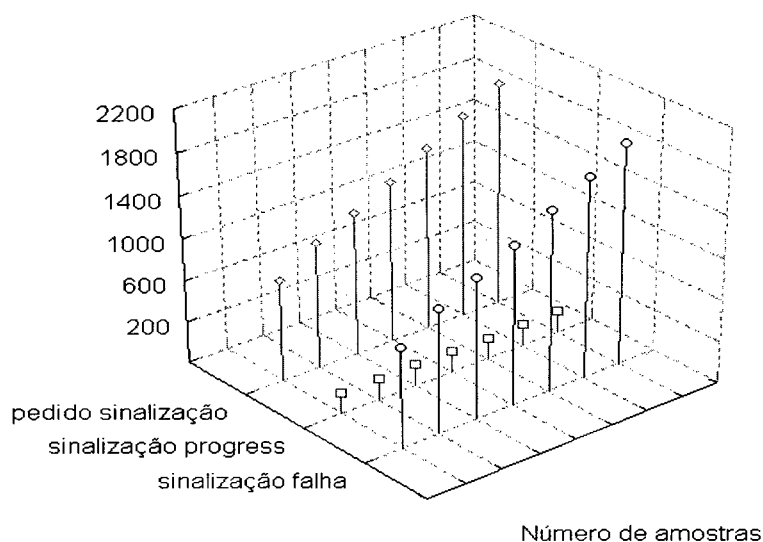


Figura 4.6 – Comportamento de sinalização de entrada no comutador CPSW_NPD

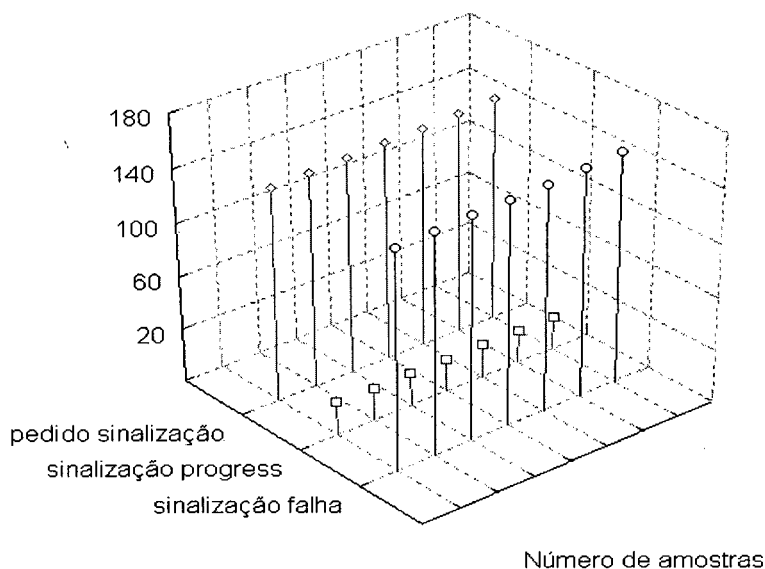


Figura 4.7 – Comportamento de sinalização de saída no comutador CPSW_NPD

Outra análise do comportamento de sinalização em redes ATM em relação às SVCs pode ser realizada através da associação real entre essas duas entidades, ou seja, determinar à qual SVC as informações de sinalizações (pedido de sinalização, falha de sinalização, sinalização em progresso) estão se referindo. Para alcançar esta relação é necessário manter um controle sobre os canais de sinalizações que são definidos pelos VPI=0 e VCI=5, uma vez que estes canais possuem uma série de parâmetros que identificam as interfaces físicas e suas respectivas SVCs. No entanto, este tipo de análise impõe algumas restrições, principalmente devido à natureza dinâmica das sinalizações e das SVCs. Dentre outros fatores que também impedem a avaliação de sinalização por SVC, estão as dificuldades em associar os parâmetros de sinalização para cada SVC estabelecida.

4.4 Controle Baseado em SVC Específica

Como mencionado neste texto, o módulo de gerência permite monitorar os fluxos de células geradas por SVC. Com o objetivo de validar este módulo, foram estabelecidas novas situações, nas quais foram gerados tráfegos por aplicações específica e com características distintas do backbone da redeUFSC.

4.4.1 Comportamento dos Fluxos de Células em SVCs ABR e CBR

No momento da realização deste estudo, somente a categoria de serviço UBR está sendo utilizada nos comutadores ATM do Backbone da redeUFSC. Porém, é possível estabelecer SVCs através do aplicativo *atm_ping* utilizando as categorias de serviços ABR e CBR. Para cada uma dessas categorias de serviços foram realizados vários experimentos, porém, o aplicativo *atm_ping* possui limitação em relação à quantidade de células enviadas por segundo (20 células por segundo – 8.840 bits) e também implementa uma proteção para as células enviadas, ou seja, garante que as células enviadas chegarão ao destino, mesmo quando a taxa de pico para o canal alocado for menor que a quantidade de células enviadas.

Na Figura 4.8 é mostrado o resultado de um experimento realizado para a categoria de serviço CBR, no qual foi solicitado a criação de uma SVC entre os comutadores CPSW_CFH e CPSW_NPD (Figura 4.8), com a taxa de pico para avanço e retorno das células de 1.024 bits (menor canal possível para o aplicativo *atm_ping*), no entanto, pode ser observado que a taxa de células transmitidas continua a mesma (20 células - 8.480 bits).

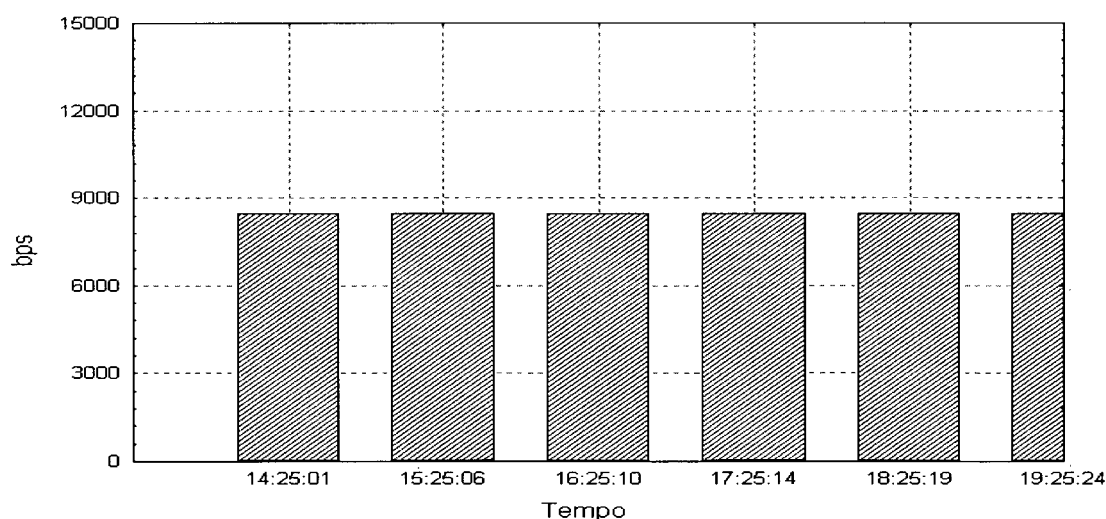


Figura 4.8 – Comportamento de uma SVC com tráfego CBR

Para uma melhor análise sobre essas categorias de serviços ATM, é necessário uma variação maior do número de células enviadas, bem como o aumento e a diminuição do

canal. Portanto, é necessário a geração de tráfego com características típicas para cada uma das categorias de serviços, conforme descrito no capítulo 2. Além disso, é necessário configurar os comutadores ATM, habilitando-os a operar de acordo com a categoria de serviço requisitada pelas aplicações.

4.4.2 Fluxo de Células de Aplicações de Dados

Várias sessões de experimentos foram realizadas com o objetivo de verificar o comportamento de uma rede ATM em situações de congestionamento. A geração do tráfego foi realizada através do aplicativo WSTTCP, uma implementação para Windows NT do programa TTCP. O WSTTCP permite a criação de uma conexão TCP com o tráfego solicitado pelo usuário.

Para a obtenção dos resultados foram realizadas diversas sessões de medições utilizando o tráfego com diferentes parâmetros. Na Tabela 4.1 são descritos os tamanhos das mensagens e os tamanhos dos pacotes submetidos em algumas estações do usuário. Pode ser observado que o tamanho das mensagens é sempre constante, pois, em termos quantitativos, é superior ao valor nominal de 155 Mbps da interface ATM para a qual o tráfego foi gerado. Ao contrário, o tamanho dos pacotes é duplicado para cada uma das sessões.

Tamanhos das Mensagens	Tamanhos dos Pacotes	SVCs estabelecidas
524288000 (bytes)	128 (bytes)	SVC_128
524288000 (bytes)	256 (bytes)	SVC_256
524288000 (bytes)	512 (bytes)	SVC_512
524288000 (bytes)	1024 (bytes)	SVC_1024
524288000 (bytes)	2048 (bytes)	SVC_2048
524288000 (bytes)	4096 (bytes)	SVC_4096

Tabela 4.1 – Parâmetros para tráfego TCP submetido na estação do usuário

Na Figura 4.9 é exibido o comportamento de 5 SVCs que foram estabelecidas para transferência dos fluxos de bits gerados com parâmetros da Tabela 4.1. Observou-se que, à medida que aumentava o número de pacotes, obviamente, o fluxo de células transmitidas

nas SVCs também aumentava. No entanto, para pacotes superiores a 1.024 bytes o número de células transmitidas nas SVCs tende a diminuir, devido ao limite imposto pela camada IP. Além disso, não foi verificado descartes de células nas SVCs monitoradas, estando somente o serviço UBR habilitado nos comutadores envolvidos nos experimentos. Isto significa que mesmo não reservando largura de banda antecipada, o serviço UBR garantiu a entrega do fluxo de células gerados.

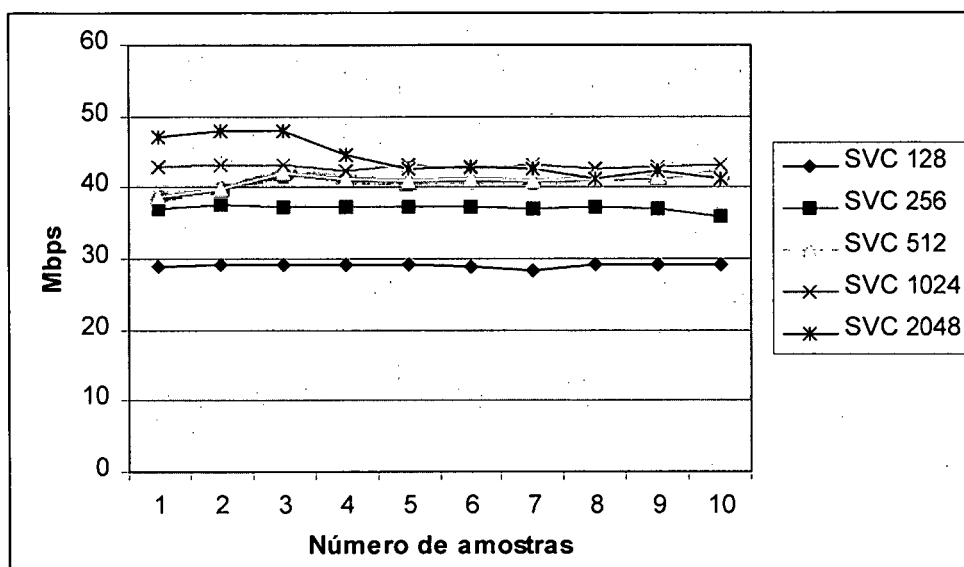


Figura 4.9 – Fluxo de células em 5 SVCs gerado por aplicação de dados

Observou-se que o limite imposto pela camada IP para o fluxo de bits transmitidos em uma unidade de tempo, é inferior à capacidade nominal da interface ATM em estudo. Maiores informações sobre a capacidade de transmissão de fluxo de bits na camada IP, podem ser encontradas em [Dhawan 97].

5 Conclusões

A utilização de SVCs solicitadas pela aplicação do usuário podem consumir recursos importantes da rede, tais como a largura de banda, espaço em *buffers* para as células no comutadores, etc. Sendo assim, é necessário manter um policiamento sobre essas conexões para permitir balanceamento da carga da rede, bem como estimar possíveis necessidades de atualização ou destacar eventuais sobrecargas ou gargalo na rede. Uma SVC passa por três fases distintas (estabelecimento, duração e desconexão) e pode sofrer interferência sobre a política de controle. Para o propósito deste trabalho foi adotado uma gerência para as conexões já existentes, através da implementação de um módulo de gerência, é possível obter o fluxos de células de entrada e saída nas conexões, bem como o levantamento de todas as conexões ativas em um comutador, classificadas em ponto a ponto ou ponto a multiponto.

O processo de sinalização ATM é responsável pelo estabelecimento, supervisão e rompimento das SVCs de forma dinâmica. A sinalização permite o seguintes mecanismo em uma rede ATM: controle de admissão de conexões, policiamento dos fluxos de células e controle de congestionamento. Todo processo de sinalização é de competência do plano de controle, que utiliza a camada ATM para o transporte das células com informações de sinalização. As informações de sinalização são transportadas em conexões próprias, separadas das conexões utilizadas para o transporte de informações do usuário. Isto é para transferir parte da complexidade envolvida na implementação de uma conexão para o protocolo de sinalização. Sendo assim, o protocolo de transferência de dados pode ser mantido o mais simples, rápido e eficiente possível. Desta maneira, foi adotado uma gerência sobre as informações de sinalizações (pedido de sinalização, falha de sinalização, sinalização em progresso) que chegam e partem dos comutadores ATM.

O módulo de gerência implementado faz parte da ferramenta de gerência ATRM Tool que está sendo desenvolvida no NPD/UFSC, e mostrou-se adequado no levantamento das

informações em comutadores ATM. O módulo de gerência encontra-se em fase de validação, permitindo a monitoração das informações de sinalizações, do número e dos fluxos de células em cada uma das conexões ativas nos comutadores da redeUFSC. Observou-se que as informações levantadas podem ser muito úteis para a verificação dos comportamentos dos recursos da redeUFSC (por exemplo, o alto número de conexões geradas pelas entidades da arquitetura LANE pode tornar-se um gargalo na rede). No entanto, ao observar as informações de sinalizações, o número de conexões e os fluxos de células geradas em cada uma delas, verificou-se que outras informações poderiam ser desejadas, como: os sistemas finais responsáveis pela geração dos fluxos de células, que tipo de serviço foi solicitado pela conexão, prioridade do tráfego, qual SVCs as informações de sinalizações estão se referindo, entre outras.

Estas informações poderiam ser obtidas através da própria estrutura utilizada neste trabalho, ou seja, é possível coletar as informações através do protocolo SNMP com um aplicativo Java, e armazená-las em uma base de dados. As mudanças necessárias para a execução seriam a monitoração de outras variáveis SNMP (também estão disponíveis nas MIBs utilizadas neste trabalho) e a modificação da forma de apresentação dos resultados. Outro aspecto que deve ser observado para alcançar estas metas, é que seria necessário abranger as políticas de controle nas fases de estabelecimento, duração e posterior ao encerramento da conexão.

O protocolo SNMP e linguagem de programação Java são de fato muito importantes para a gerência de redes. A simplicidade implementada pelo protocolo SNMP torna-o apropriado para gerência de redes ATM, principalmente pela complexidade envolvida na gerência desta tecnologia. A portabilidade, a orientação a objetos e os conceitos de manipulação com ponteiros, são exemplos de algumas facilidades da linguagem de programação Java.

A utilização de servidores de banco de dados para o armazenamento de informações sobre conexões e fluxos de células, mostrou-se ser extremamente útil para permitir um acesso padronizado, flexível e eficiente a estas informações. Através destes servidores é possível a

aquisição complexa a partir de simples invocação SQL. Outro aspecto importante da utilização de Servidores de Banco de Dados, é que eles permitem o compartilhamento de informações com outras aplicações.

No caso estudado, observou-se que mesmo havendo largura de banda suficiente nas portas ATM, o número de conexões geradas na porta que conecta o servidor LANE (MSS-NPD) é relevante em relação ao valor máximo suportado de conexões. Portanto, medidas no sentido de distribuição dos recursos da rede devem ser investigadas. Trabalhos no sentido de avaliar o comportamento das conexões de controle geradas pelas entidades da arquitetura LANE também devem ser direcionados.

Acredita-se que os estudos e resultados apresentados neste trabalho venham contribuir para o entendimento da tecnologia ATM e da gerência de redes, uma vez que são temas de extrema importância e que na comunidade científica devem ser continuamente aperfeiçoados.

5.1 Perspectivas para Trabalhos Futuros

O módulo de gerência implementado resolve, em parte, os problemas de controle de conexões, sinalizações e fluxos de células em comutadores ATM. Trabalhos nessa área para se chegar a uma ferramenta melhorada e mais completa poderiam ser direcionados.

Trabalhos para avaliar o comportamento dos serviços UBR, ABR, CBR e VBR para os compromissos de QoS; em termos de atrasos e tolerância a perdas também são sugeridos como atividades futuras. Para esse item é necessário gerar fluxos de células com aplicações apropriadas para cada tipo de serviço.

A tecnologia ATM surge como uma importante tecnologia de rede para comunicação multimídia a altas velocidades, portanto, trabalhos nessa área devem ser direcionados.

Referências Bibliográficas

- [Abdalla 96] Abdalla, M. F. *Análise de Mecanismos de Controle de Admissão de Conexão para Redes ATM*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ. Setembro, 1996.
- [Alles 95] Alles, A. *ATM internetworking*. Cisco Systems, Inc. Março 1995. Disponível em: <http://www.cisco.com/warp/public/614/12.html>.
- [ATMForum-A 99] The ATM Forum Technical Committee: *ATM Forum Addressing: Reference Guide af-ra-0106.000*. Fevereiro 1999. Disponível em: <http://www.atmforum.com>.
- [ATMForum-B 99] The ATM Forum Technical Committee: *Addressing Addendum to ATM user-network Interface(UNI) Signalling Specification – Version 4.0 af-cs-0107.000*. Fevereiro 1999. Disponível em: <http://www.atmforum.com>.
- [ATMForum-C 96] The ATM Forum Technical Committee: *ATM user-network Interface(UNI) Signalling Specification – Version 4.0 af-sig-0061.000*. Julho 1996. Disponível em: <http://www.atmforum.com>.
- [ATMForum-D 96] The ATM Forum Technical Committee: *Integrated Local Management Interface (ILMI) – Version 4.0 afilmi-0065.000*. Setembro 1996. Disponível em: <http://www.atmforum.com>.
- [ATMForum-E 98] The ATM Forum Technical Committee: *SNMP M4 NetWork Element View MIB – af-nm-0095.001*. Julho 1998. Disponível em: <http://www.atmforum.com/>
- [ATMForum-F 94] The ATM Forum Technical Committee: *Interim Interswitch Signaling Protocol - Specification v1.0 af-pnni-00026.000*. Dezembro 1994. Disponível em: <http://www.atmforum.com>.
- [ATMForum-G 96] The ATM Forum Technical Committee: *Private Network Interface*

- Specification – Version 1.0 (PNNI) af-pnni-0055-000. Março 1996. Disponível em: <http://www.atmforum.com>.*
- [ATMForum-H 99] The ATM Forum Technical Committee: *PNNI Augmented Routing (PAR) version 1.0 – af-ra-0104.000*. Janeiro 1999. Disponível em: <http://www.atmforum.com>.
- [ATMForum-I 95] The ATM Forum Technical Committee: *Lan Emulation over ATM. Version 1.0 – af-lane-002.000*. Janeiro 1995. Disponível em: <http://www.atmforum.com>.
- [ATMForum-J 99] The ATM Forum Technical Committee: *Lan Emulation over ATM. Version 2.0 – af-lane-0112.000*. Fevereiro 1999. Disponível em: <http://www.atmforum.com>.
- [ATMForum-L 96] The ATM Forum Technical Committee: *LAN Emulation Servers Management Specification. Version 1.0 – af-lane-0057.000*. Março 1996. Disponível em: <http://www.atmforum.com>.
- [Almesberger 97] Almesberger, W.; Sasyan, S.; Wright, S. *Quality of Service (QoS) in communication APIs*. Fujitsu Network communications. Março 1997.
- [Aubry et al. 97] Aubry, M. et al. *IBM PNNI Control Point (Switched Network Services)*. ATM Networking Group Zurich Research Lab. Março 1997.
- [ATM 98] ATM Forum. *ATM Service Categories: The Benefits to the User*. 1998. Disponível em: http://www.atmforum.com/atmforum/library/service_categories.html,
- [Aurrecoechea 98] Aurrecoechea, C.; Campbell, A. T.; Hauw, L. *A Survey of QoS Architectures*. ACM/Springer Verlag Multimedia Systems Journal, Special Issue on QoS Architecture, Vol. 6, nº 3, págs. 138-151. Maio 1998.
- [Beijnum 97] Beijnum, B. J.; Sprenkels, R. A. M.; Waaij, B. D. *Results of the SURFnet Management Project*. Technical Report. University of Twente. 1997.
- [Bellcore 96] Bellcore, A. G. *Suport for Multicast over UNI 3.0/3.1 based ATM*

Network – Network Working Group – Request for Comments: RFC 2022. Novembro 1996. Disponível em: <http://www.kobira.co.jp/document/rfc/RFC2022.txt>

- [Bozzano 98] Bozzano, M. J. *Gerenciamento de Autoconfiguração em Redes com IPv6*. Dissertação de Mestrado, UFSC. Setembro 1998.
- [Campbell 94] Campbell, A.; Coulson, G.; Hutchison, D. *A Quality of Service Architecture*. ACM Computer Communications Review, Vol. 24, nº 2. Abril 1994.
- [Cerutti 99] Cerutti, A. F. *Implementação de um Ambiente de Gerência de Redes ATM Utilizando a tecnologia Web*. Dissertação de Mestrado, UFSC. Agosto 1999.
- [Coffey 99] Coffey, G. C. *Video Over ATM Networks*. Março 1999. Disponível em: http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-97/video_over_atm/index.htm.
- [Fluckinger, 95] Fluckinger, F. *Understanding Networked Multimedia: Applications and Technology*. Prentice-Hall, 1995.
- [Giroux 99] Giroux, N.; Ganti, S. *Quality of Service in ATM Networks: State-of-the-Art Traffic Management*. Prentice Hall PTR, 1999.
- [IBM 98] Copyright IBM corp.; *PNNI: What it is, What it Does, & How To Configure IT*. 1998.
- [ITU-T 95] Recommendation Q.2931: *Broadband Integrated Services Digital Network (B-ISDN) – Digital subscriber signalling system número 2 – User-network interface (UNI) – Layer 3 specification for basic call/connection control*. Fevereiro 1995.
- [ITU-T 97] *Narrow Band Visual Telephon Systems and Terminal Equipament*. ITU-T. Recommendation H.320. 1997.
- [Koliver 98] Koliver, C. *Uma Abordagem de Adaptação de QoS para Aplicações Multimídia Distribuídas*. UFCS-LCMI. Dezembro 1998.
- [Kyas 95] Kyas, O.; *ATM networks* – International Thomson Computer Press, 1995.

- [Hong 97] Hong, J. W.; Kim, J.; Park, J. *A Corba-Based Quality-of-Service Management Framework for Distributed Multimedia Services and Applications*. University Research Institute. 1997.
- [Lakshman 97] Lakshman, K.; Yavatkar, R. *Integrated CPU and Network-I/O QoS Management in a Endsystem*. University of Kentucky. 1997.
- [Lu 96] Lu, G. *Communication and Computing for Distributed Multimedia Systems*. Artech House Inc. 1996.
- [McCutcheon 97] McCutcheon, M. *Video and Audio Streams Over an IP/ATM Wide Area Network - UBC TEVIA Project Transport Encoded Video over IP/ATM – Relatório Técnico 97-03*. Junho 1997. Disponível em: http://www.cs.ubc.ca/nest/dsg/tevia_files/techreport/techreport.html.
- [Miller 97] Miller, M. A. *Managing Internetwork with SNMP – The Definitive Guide to the Simple Network Management Protocol, SNMPv2, RMON, and RMON2*. Second Edition. Editora M&T BOOKS. 1997.
- [Nahrstedt 97] Nahrstedt, K.; Qiao, L. *A Tuning System for Distributed Multimedia Applications*. University of Illinois, 1997.
- [Oliveira 98] Oliveira, M. et al. *Introdução a Gerência de Redes ATM*. XVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. Maio 1998.
- [Ott 97] Ott, M.; Michelitsch, G.; Reininger, D.; Welling, G. *An Architecture for adaptive QoS and its Application to Multimedia Systems Design*. C&C Research Laboratories, NEC USA, Inc. Agosto 1997.
- [Rochol 99] Rochol, J. *Rede Digital de Serviços Integrados de Banda Larga e ATM*. Março 1999. Disponível em: http://king.inf.ufrgs.br/grad/inf01005/material_981.htmlhttp://king.inf.ufrgs.br/grad/inf01005/material_981.html.
- [Siu 96] Siu, K.Y.; Jain R.; *A Brief Overview of ATM: Protocol Layers, LAN Emulation, and Traffic Management*. Fevereiro 1996. University of California.
- [Soares 95] Soares, L. F. G.; Lemos, G.; Colcher, S. *Redes de Computadores: das LANs, MANs e WANs às Redes ATM*. Editora Campus, 1995.

- [Sprenkels 97] Sprenkels, R.; Waaij, B.; Beijnum, B.; Pras, A. *The Feasibility of Introducing ATM SVCs*. Center for Telematics and Information Technology, University of Twente. 1997.
- [Tanenbaum 97] Tanenbaum, A. S. *Computer Networks*. 3^o ed. Prentice Hall. 1997.
- [Townsend 95] Townsend, R. L. *SNMP Application Developer's Guide*. VNR Communications Library. 1995.
- [Vogel 95] Vogel, A.; Kerhervé, B.; Von Bochmann, G.; Gecsei, J. *Distributed Multimedia Applications and Quality of Service: A Survey*. IEEE MultiMedia, Vol.2, n° 2, pags 10-19. 1995.